ESPOL
CIB
D-3234
621.38153
D 57
c. 2
BIBLIOTECA

ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DEL LITORAL
Facultad de Ingeniería Eléctrica

"DISEÑO Y CONSTRUCCION DE UN EQUIPO DIDACTICO PARA EL ANALISIS EXPERIMENTAL DE CONVERTIDORES AC/DC Y SISTEMAS DE CONTROL DE VELOCIDAD PARA MOTORES DE CORRIENTE CONTINUA".

TESIS DE GRADO
Previo a la obtención del Título de:
INGENIERO EN ELECTRICIDAD

Especialización: ELECTRONICA

Presentada por:
ROBERTO DILLON LEON

Guayaquil - Ecuador
1.993

A G R A D E C I M I E N T O

Al ING. ALBERTO LARCO
Director de Tesis, por
su ayuda y colaboración
para la realización de
este trabajo:

BIBLIOTEC

ING. ALBERTO LARCO G.

Director de Tesis

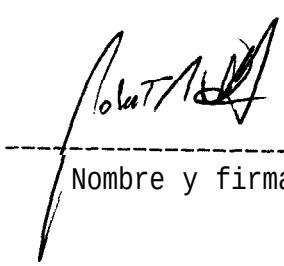
BIBLIOTECA

D E C L A R A C I O N E X P R E S A

"La responsabilidad por los hechos, ideas y doctrinas expuestos en esta tesis, me corresponden exclusivamente; y, el patrimonio intelectual de la misma, a la ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DEL LITORAL".

(Reglamento de Exámenes y Títulos profesionales de la ESPOL).

ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DEL LITORAL
1958
GUAYAQUIL
BIBLIOTECA



Nombre y firma del autor

ING. CARLOS VILLAFUERTE P.
PRESIDENTE TRIBUNAL

ING. ALBERTO LARCO G.
DIRECTOR VE TESIS

ING. NORMAN CHOOTONG CH.
MIEMBRO TRIBUNAL

ING. WASHINGTON MEDINA M.
MIEMBRO TRIBUNAL

ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DEL LITORAL
1958
GUAYAQUIL
BIBLIOTECA

RESUMEN

El objetivo de esta Tesis es la construcción de un equipo de control de tiristores a base de la variación del ángulo de disparo, este equipo permitirá el estudio y aplicación que poseen los convertidores estáticos, basados en el uso de tiristores y su aplicación al control de un motor de corriente continua. Para lo cual se estudió las principales funciones del equipo MAWDLEY´S, utilizado en Laboratorio de Controles Industriales Electrónicos de la ESPOL y de esta manera construir un equipo que reuniera la misma 0 mayores cualidades que la anterior.

El equipo cuenta de seis tiristores y los pulsos de disparo requeridos son producid- de dos en dos por cada fase de control, desfasados 180 grados entre sí. El sincronismo entre el sistema de control y el de fuerza se realiza a través de tres transformadores con toma central conectados en configuración delta estrella abierto.

El sistema de control tendrá una parte analógica y una parte digital que se interconectan a través de los terminales externos "P" Y "G" .

La variación de disparo se lo realiza mediante un voltaje variable llamado "REFERENCIA", la parte digital del sistema de control es

es un modulador de pulsos que me proveerá seguridad para los disparo de los SCR´S.

Como otro aspecto importante del trabajo se tierie el uso de los controladores del tipo proporcional e integral aplicados al control de la corriente y velocidad de un motor de corriente continua. La corriente a diferencia del MAWDLEY'S puede limitarse mediante un control externo, existiendo también un control externo para variar el valor de la constante KP del controlador PI . Por ùltimo el equipo cuenta con un medidor digital de ángulo de disparo referenciado a la fase A, tanto para configuración monofásica 0 trifásica.

ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DEL LITORAL
1958
GUAYAQUIL
BIBLIOTECA

INDICE GENERAL

Págs.

RESUMEN 5

INDICE GENERAL 7

INDICE DE FIGURAS 10

INTRODUCCION 15

1. GENERALIDADES Y DESCRIPCION GENERAL DEL EQUIPO 17

1.1. Generalidades 17

1.2. Descripción general del Equipo 18

II. ALIMENTACIONES Y PROTECCIONES 24

2.1: Alimentación Trifásica de Fuerza 24

2.1.1. Alimentación del Circuito de Disparo 25

2.1.2. Protección de Sobrecorrientes 26

2.2. Rectificacih y Filtrado 28

2.3.. Circuito de Control de Voltaje de Referencia 32

III. CIRCUITOS DE DISPARO 34

3.1. Generador de Onda Cuadrada 37

3.2. Generador de Rampa 38

3.3. Comparador y Generador de Pulsos 39

3.4. Sincronización de los Pulsos de Disparo 40

3.5. Modulación de Pulsos de Disparo en Lógica TTL 44

3.6. Circuito Amplificador de Pulsos 47

IV. TEORIA DE RECTIFICADORES 49

4.1. Rectificador Monofásico de Media Onda 50

4.2. Rectificador Monofásico de Onda Completa 50
4.3. Rectificador Trifásico de Media Onda 51
4.4. Rectificador Trifásico de Onda Completa 52
V. CONTROL DE VELOCIDAD DE UN MOTOR DE CORRIENTE CONTINUA.. 57
5.1. Lazo de Realimentación de Corriente 63
5.2. Lazo de Realimentación de Velocidad 66
5.3. Lazo de Realimentación de Voltaje 68
VI. MEDICION DIGITAL DEL ANGULO DE DISPARO 70
6.1. Diagrama de Bloques del Circuito 70
6.2. Requerimientos 71
VII. PRUEBAS 82
7.1. Pruebas de las Etapas 82
7.1.1. Circuito de Disparo 82
7.2. Pruebas del Equipo Completo 91
7.2.1. Rectificadores 91
7.2.1.1. Rectificador Monofásico de Media Onda 93
7.2.1.2. Rectificador Monofásico de Onda Completa, tipo puente 94
7.2.1.3. Rectificador Trifásico de Media Onda 96
7.2.1.4. Rectificador Trifásico de Onda Completa 97
7.2.2. Control del Motor DC 99
7.2.2-l. Control de Lazo Abierto de Velocidad 99

7.2.2.2. Control de Lazo Cerrado de Corriente 100
7.2.2.3. Control de Doble Lazo Cerrado Velocidad 107
7.2.2.4. Control de Doble Lazo Cerrado Voltaje 110
7.3. Pruebas Experimentales Complementarias 113
7.3.1. Pruebas del Transformador Construído 118
7.4. Referencias Finales 119
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES 121
APENDICES 123
A Datos Técnicos 124
B Manual del Usuario 134
C Diagrama General del Equipo 146
D Instructivos para el Mantenimiento 180
Bibliografía 186

INDICE DE FIGURAS

FIGURA TITULO Págs.

1.1 Vista Frontal del Equipo 19

1.2 Vista Frontal Superior 21

1.3 Vista Frontal Inferior 22

1.4 Vista Interior del Equipo 23

2.1 Diagrama de Transformadores y Fusibles 27

2.2 Fuente de +5 V 30

2.3 Fuente de +24 VDC 31

2.4 Fuente de +15 V y -15 V 31

2.5 Circuito de Control de Voltaje VX 33

3.1 Diagrama de Bloques del Circuito de Disparo 36

3.2 Generador de Onda Cuadrada 37

3.3 Generador de Rampa 38

3.4 Comparador y Generador de Pulsos 39

3.5 Rango de acción de los 6 pulsos de Disparo 41

3.6 Puente Trifásico de 6 Tiristores Onda Completa. Control Completo 42

3.7 Secuencia de Disparo del arreglo mostrado en la figura # 3.6 43

3.6 a) Localización de los terminales P y G.
b) Conecciones necesarias para secuencia de la figura # 3.6 43

3.9 Generador Astable 45

3.10 Diagrama del Circuito Modulador de Pulsos 46

Circuito Amplificador de Pulsos 47
Diagrama de la Tarjeta del Circuito Generador de Pulsos 48
Rectificación Monofásica de Media Onda 53
Rectificacion Monofásica de Onda Completa 54
Rectificación Trifásica de Media Onda 55
Rectificación Trifásica de Onda Completa 56
Modelo de un Motor DC 57
Diagrama de Bloques del Sistema de Control del Motor DC 58
Simbología externa de los circuitos de Realimentación 61
Modelo de un Controlador PI 62
Circuito de Realimentación de Corriente. 65
Circuito de Realimentación de Velocidad 69
Diagrama de Bloques del Circuito 70
Red desfasadora y diferenciadora 72
Generación de señal cuadrada proporcional a alfa 73
Generador Astable 75
Generación del Clear de los Contadores 76
Señales para la obtención del Clear de los Contadores 77
Obtención del Reloj de latch del 74143 79
Señales para la obtención del reloj del latch 80
Circuito del Medidor de Angulo de Disparo 81
Resultados del Circuito de Disparo 84
Resultados del Circuito de Disparo 85
Resultados del Circuito de Disparo 87
Resultados del Circuito de Disparo 88

7.5 Resultados del Circuito de Disparo 89

7.6 Resultados del Circuito de Disparo 90

7.7 Resultados del Circuito de Disparo 92

7.8 Resultados del Convertidor para la conexión monofásica de media onda 93

7.9 Resultados del Convertidor para la conexión monofásica completamente controlada tipo puente, carga R-L 94

7.10 Resultados del Convertidor para la conexión monofásica completamente controlada, Carga R-L Con diodo de paso libre 95

7.11 Resultados del Convertidor para la conexión trifásica de media onda, carga R-L 96

7.12 Resultados del Convertidor para la conexión trifásica completamente controlada a=0 grados 97

7.13 Resultados del Convertidor para la conexión trifásica completamente controlada α= 60 grados 98

7.14 Tablas de Datos: Lazo Abierto 101

7.15 Gráfico de Velocidad (w) versus corriente de armadura (Ia), Lazo abierto, conducción discontinua..102

7.16 Gráfico de Velocidad (w) versus corriente de armadura (Ia), Lazo abierto, conducción continua 103

7.17 Tabla de Datos: Lazo de Corriente 105

7.18 Corriente de armadura versus velocidad Lazo de realimentación de corriente 105

7.19 Potencia de entrada al motor versus velocidad Lazo de Realimentación de corriente 106

ESCUELA SUPERIOR
BIBL

7.20 Tabla de Datos: Lazo de Velocidad 109

7.21 Velocidad versus corriente de armadura. Lazo de realimentación de velocidad 110

7.22 Tabla de Datos: Lazo de Voltaje 111

7.23 Voltaje de armadura versus corriente de armadura, lazo de realimentación de voltaje de armadura del motor 112

7.24 Resultados del Medidor del Angulo de Disparo 114

7.25 Resultados del Medidor del Angulo de Disparo 115

7.26 Resultados del Medidor del Angulo de Disparo 116

7.27 Resultados del Medidor del Angulo de Disparo 117

9.1 Conexión Física del Rectificador Monofásico de Media Onda 137

9.2 Conexión Fisica del Rectificador Monofásico de Onda Completa con toma central 138

9.3 Conexión Fisica del Rectificador de Onda Completa Tipo Puente 139

9.4 Conexión Fisica de l Rectificador Trifásico de Media Onda 140

9.5 Conexión Física del Rectificador Trifásico completamente controlado 143

9.6 Conexión Física del Motor al Tablero Principal 144

9.7 Vista del Equipo construído, usándose para la práctica con el Motor -Generador 145

10.1 Posicionamiento de Tarjetas en el Equipo 153

10.2a Diagrama General # 1 154

10.2b Diagrama General # 2 155

10.3 Foto de la Tarjeta # 1 156
10.4 Foto de la Tarjeta # 2 157
10.5 Foto de la Tarjeta # 3 ..... 15.
10.6 Disposición de los elementos de la Tarjeta # 3 159
10.7 Circuito Impreso de la Tarjeta # 3 160
10.8 Foto de la Tarjeta # 4 161
10.9 Foto de la Tarjeta # 5 162
10.10 Disposición de los elementos de la Tarjeta ti-5 163
10.11 Circuito Impreso de la Tarjeta # 5 164
10.12 Foto de la Tarjeta # 6 165
10.13 Disposición de los elementos de la Tarjeta # 6 166
10.14 Circuito Impreso de la Tarjeta # 6 167
10.15 Foto de la Tarjeta # 7 168
10.16 Disposición de los elementos de la Tarjeta # 7 169
10.17 Circuito Impreso de la Tarjeta # 7 170
10.18 Foto de la Tarjeta # 8 171
10. 19 Foto de la Tarjeta # 9 ..... 17.
10.20 Foto de la Tarjeta # 10 173
10.21 Disposición de los elementos de la Tarjeta # 10..... 174
10.22 Circuito Impreso de la Tarjeta # 10 175
10.23 Foto de 3.a Tarjeta # 11 176
10.24 Disposición de los elementos de la Tarjeta # íl 177
10.25 Circuito Impreso de la Tarjeta # 11 178
10.26 Vista Externa del Medidor de Angulo 179

ESCUELA SUPERIOR
BIB

INTRODUCCION

En el laboratorio de Controles Industriales Electrónicos SC realizan prácticas que permiten que el estudiante haga un vínculo entre la teoría asimilada durante los años de estudio y la electrónica de potencia con que se va a encontrar en la industria experiencias relacionadas con el manejo de potencias mayores mediante sistemas de control de pocos voltio-amperios.

Algunas de las experiencias se efectuan en circuiterías armadas por los propios estudiantes y otras se efectuan en el equipo Inglés (Mawdley's Educational thiristor drive), el cual es un banco en el que se realizan varios tipos de convertidores estáticos, monofásicos o trifásicos en el. que los estudiantes estudian la aplicación de los tiristores y controladores electrónicos en la industria, trabajando en el. hasta 6 estudiantes a la vez.

Como una manera de solucionar el problema de falta de equipo de laboratorio para realizar experiencias, para darle al estudiante mayor oportunidad de trabajo, se me propuso como tema de tesis la INVESTIGACION y CONSTRUCCION de un banco similar al equipo Inglés, que incluya algunos circuitos y facilidades adicionales al conjunto; como un medidor de un ángulo de disparo digital, un control externo para limitar la corriente que debe circular por el motor, y un control externo para variar el valor de la constante KP

del controlador proporcional-integral para la experiencia del laso de realimentación de velocidad y corriente de armadura cuando se maneja un motor DC, pudiéndose así observar como responde el sistema a las diferentes variaciones para los diferentes valores de las constantes del controlador.

Entre las aplicaciones del equipo se tiene el estudio de los rectificadores controlados, sean ésto8 de media onda o de onda completa, tanto en configuraciones monofásicas como trifásicas: puentes semicontrolados o con control completo; aplicaciones del convertidor a diversas cargas, y la aplicación al control de torque, velocidad o voltaje de armadura de un motor de corriente continua; etc.

La estructura física externa del tablero de conecciones ha sido mantenida similar al equipo Inglés con el objeto de dar una sola explicación de la manera de utilizar los bancos. Se tendrá entonces acceso al circuito de fuerza lo que permitirá estudiar el comportamiento de la8 diferente8 configuraciones a través de 108 punto8 de observación presentes en el tablero principal.

Se presenta en este trabajo la circuitería y forma de trabajo del equipo en general, dato8 técnico8 de 108 elementos utilizadoe, manual del usuario, y finalmente diagrama8 y disposición de 108 elemento8 en las tarjetae.

CAPITULO I

1.1. GENERALIDADES

A consecuencia del progreso presentado por la electrónica, se necesita que se supere constantemente la calidad del aprendizaje del estudiante en este campo; por ello es necesario un mejor equipamiento del laboratorio, una manera sería el incremento de los equipos existentes de ahí uno de los objetivos del presente trabajo.

Para implementar esta tesis se estudio las principales funciones y características del equipo MAWDLEY'S. Se procedió entonces al diseño de lo que sería el EQUIPO EDUCACIONAL CONVERTIDOR DE TIRISTORES. El equipo consta para la alimentación del circuito de fuerza de un transformador trifásico de 3KVA. Se utilizan fuentes de + 24,+ 5,+15 y - 15 VDC, para alimentar las tarjetas; además se implementó una fuente de 148 VDC para alimentar el campo del motor.

Posee 6 Tiristores y 6 Diodos de potencia los cuales están montados en disipadores de calor.

El circuito de control consta de 6 tarjetas, y una interfase analógica-digital analógica, la cual es el modulador de pulsos para el disparo de los SCR´s.

Consta también de un medidor digital del ángulo de disparo de 108 SCR´s, el cual tiene un decimal de precisión y posee un switch externo, que me permite seleccionar la lectura para para configuraciones monofásicas 0 trifásicas.

Las tarjetas se dispusieron de manera que permita su fácil acceso y revisión.

En los capítulos siguientes se irá describiendo en detalle las diferentes partes de que esta constituído el equipo.

2. DESCRIPCION GENERAL DEL EQUIPO

Con el objeto de facilitar la explicación de la8 conecciones a efectuarse en las prácticas de laboratorio, se ha dispuesto los terminales del tablero frontal de conecciones de la misma forma que en el equipo original Inglés (MAWDLEY´S), por lo que solo se tiene acceso a la parte de fuerza, ver figura 1.1.

Se tiene dos secciones de conección en el frente del equipo:

a.- La superior, (figura 1.2), en ella están loa terminales de los diodo8 y tiristores. Se tienen 6 diodos nombrado8 desde D1 a D6 y 6 tiristores desde TH1 a TH6. En serie con cada uno de ellos se tiene una resistencia de 0.75 ohmios, 10 W., que permite observar la forma de onda de la corriente a través de ellos junto a ello8 tenemos terminales que sirven como puntos

puntos de observación de señales para el osciloscopio.

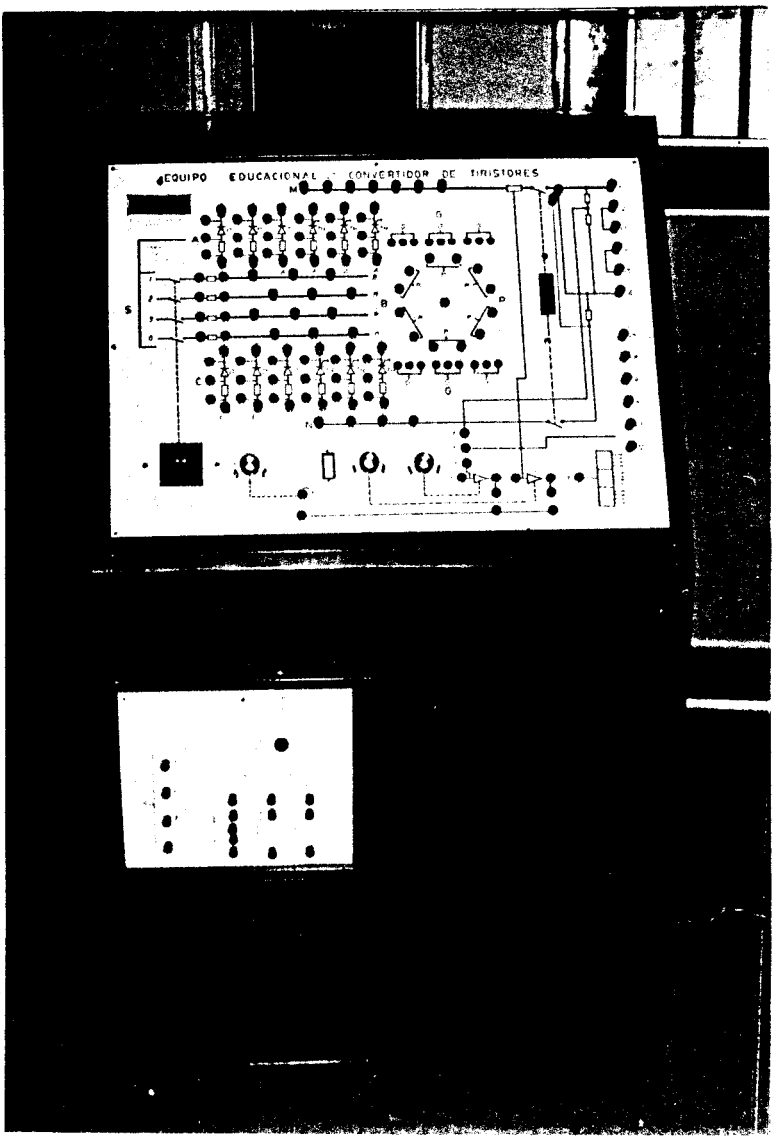


Figura # 1.1.- Vista Frontal del Equipo

Las lineas rotuladas desde B1 a B3 se conectan a los secundarios de los transformadores de fuerza a través de un breaker trifásico de 10 Amp., mas no así la línea B4 que está directamente conectada a la bornera SO que está junto a las demás borneras que sirven para conección de los secundarios de

loe transformadores de fuerza en la seccion frontal inferior.

Estas líneas poseen también resistenciae de 0.75 ohmios, 10 W, que tienen igual finalidad que la explicada anteriormente.

Loe terminalea desde P1 a P6 son puntos de ealida procedente del circuito de control en ellos están loa pulsos de dieparos, desfasados 60 grados. Estos pulsos deberán ser ingresados nuevamente a los terminales G1 a G6 dependiendo de los requerimientos de la configuración a construirse en la práctica del laboratorio, es importante conocer que estos "G" no son los gate físicos de los tiristoree sino las entradas de unas puertas lógicas de tecnología TTL. Los terminales "G" color rojo sirven para observación de la señal ráfaga de pulsos resultante para el tiristor respectivo. El medidor digital del ángulo de disparo esta dispuesto en la parte superior izquierda del tablero de conecciones y está conectado para hacer la medición solo para la faee A. Un switch situado sobre los displays nos permite seleccionar para lectura monofásica 0 trifásica.

El potenciómetro denominado "REFERENCIA" varia un voltaje DC de control presente en el terminal Tl , mediante el cual variará el ángulo de disparo.

BIE

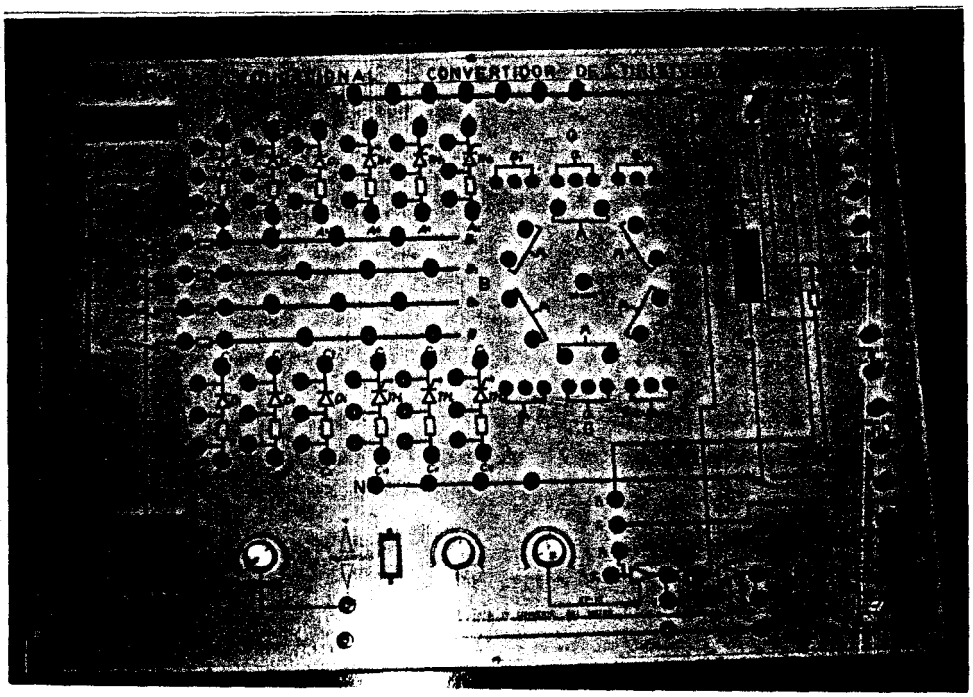


Figura # 1.2 .- Vista Frontal Superior.

Un switch llamado "POLARIDAD" permitirá cambiar la polaridad el voltaje de control. Este switch deberá estar hacia "+", ouando se utiliza un control de laxo abierto o un lazo cerrado de corriente. Deberá estar hacia "-", cuando se trate de un doble laxo de corriente y velocidad o voltaje.

En la esquina inferior derecha esta la representación de los circuitos de realimentación de voltaje de armadura (Terminal T3), de velocidad (Terminal T4) y de corriente de armadura.

Existe también el Interruptor monofásico de 10 Amp que conecta la línea denominada M en la parte superior del equipo con el terminal 1 en que se conectará la carga.

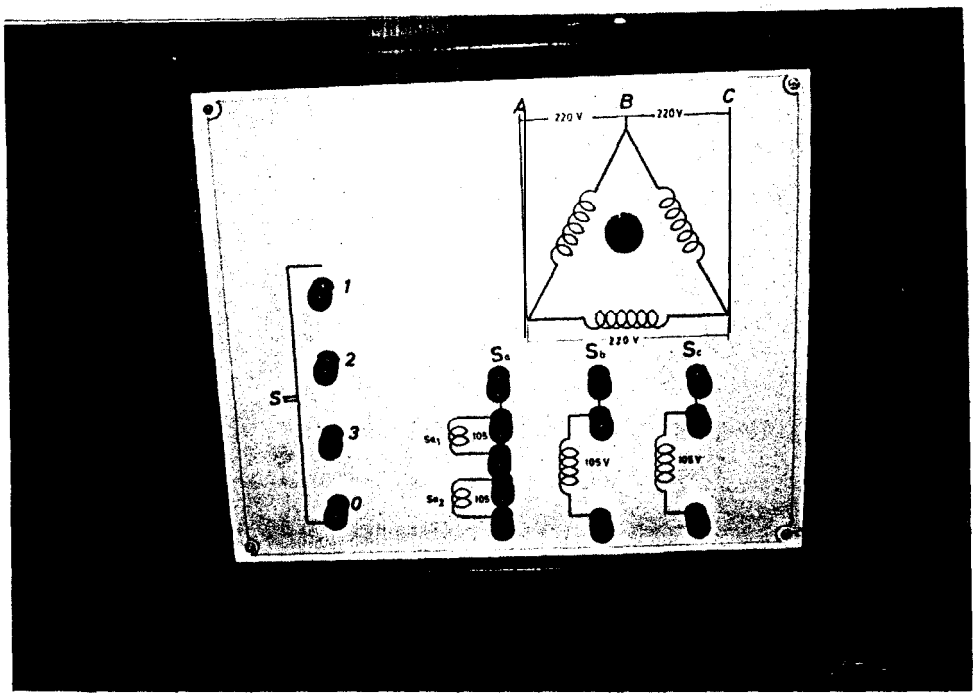


Figura # 1.3 .- Vista Frontal Inferior.

b.- La inferior (Figura 1.3) tiene los terminales de salida de los transformadores de fuerza de los equipos que son 3 monofásicos que conforma un trifásico llamado TR1. Estos terminales se deberán conectar luego a los terminales denominados S3 a SO que tienen connección directa a través del interruptor trifásico con los terminales B3-BO , de la parte superior. La luz piloto se enciende al energizarse el equipo.

En la Figura # 1.4 se puede visualizar la parte interior del Equipo.

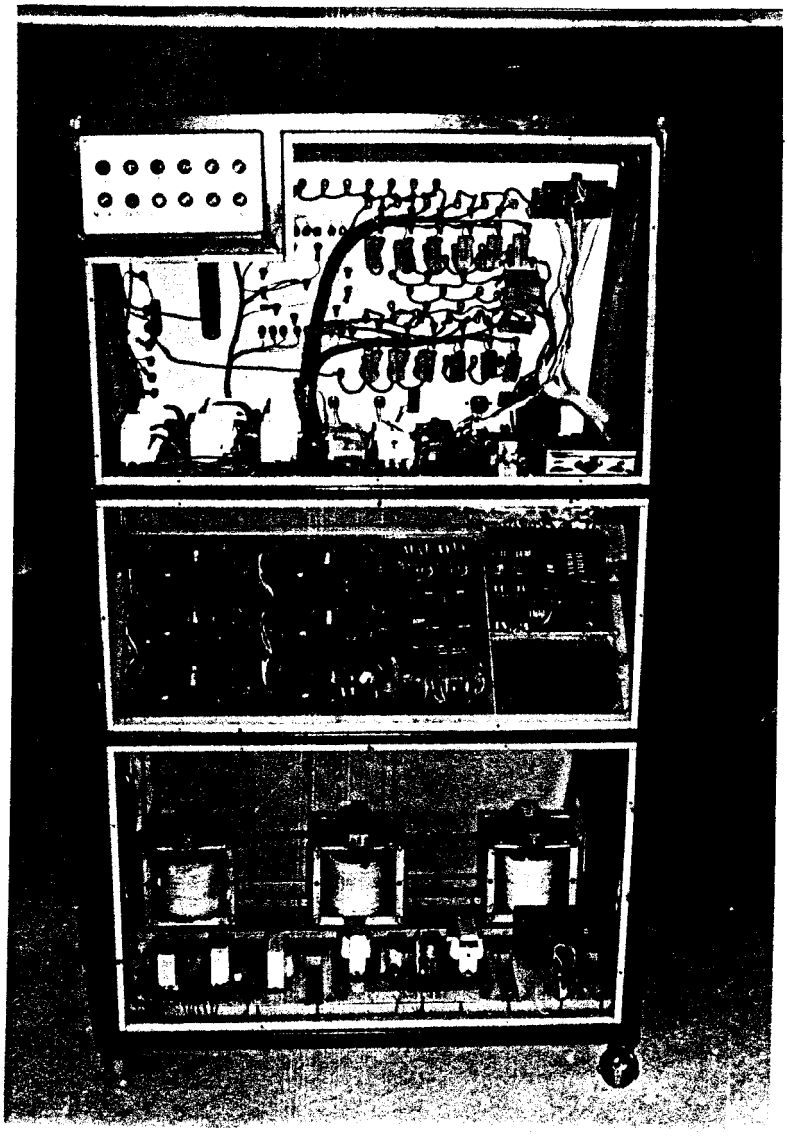


Figura # 1.4 .- Vista Interior del Equipo.

ESCUELA SUPERIOR POLITÉ
1958
GUAYA
BIBLIO

CAPITULO II

ALIMENTACIONES Y PROTECCIONES.

1. ALIMENTACION TRIFASICA DE FUERZA.

Para realizar las prácticas en el laboratorio de Controles Industriales Electrónicos, se dispone de un banco, de resistencias de 2.2 KVA a 110 V y de 3KVA a 220 V., además de bancos de inductancias y capacitancias que sirve de carga a los rectificadores ; también se tiene como carga del convertidor un motor DC. do 220 V, 9 Amperios de armadura.

Teniendo presentes estos valores de voltaje y potencia y considerando las experiencias que se realizan en el laboratorio se realizó la construcción de los transformadores para la alimentación del convertidor y las especificaciones se detallan a continuación :

1.- Un transformador de 1KVA con 2 devanados secundarios, independientes de 105 V, 10 Amp. en el secundario, 220 V en el primario.

2.- Dos transformadores de 1KVA de un devanado secundario de 105 V, 10 Amp. y 220 V en el primario. Los 3 transformadores monofásicos se conectó sus primarios en delta, teniendo así

disponible la alimentación trifásica o monofásica de fuerza, permitiendo incluso realizar una configuración bifaaica usando para esto los dos devanados independientes que posee uno de los transformadores construídos.

1. ALIMBNTACION AL CIRCUITO DE DISPARO.

Existen 3 transformadores de 220 V en el primario a 28 V rms en el secundario con derivación central. Estos transformadores están conectado8 en delta y en paralelo a las conecciones de la alimentación trifásica de fuerza, tomando asi voltaje8 de línea y sincronizando entonces loe circuito8 de disparo con la8 fases correspondientes de cada línea siendo estos los transformadores de sincronismo; su8 secundarios 8on conectadoe en estrella abierta se une la derivación central como un punto común de loe circuito8 de control y cada terminal libre del secundario alimentará a un circuito de disparo correspondiente a la faae a la que está conectado el primario.

Además tenemos los transformadores siguientes:

Un monofásico de 200 VA para el voltaje DC del campo del motor. Uno de 120 a 30.8 V (1 Amp en el secundario), para la fuente de + 24 V.

Uno de 120 a 26.9 V (1 Amp en el secundario), con derivación

central para las fuentes de +15 y -15 VDC.

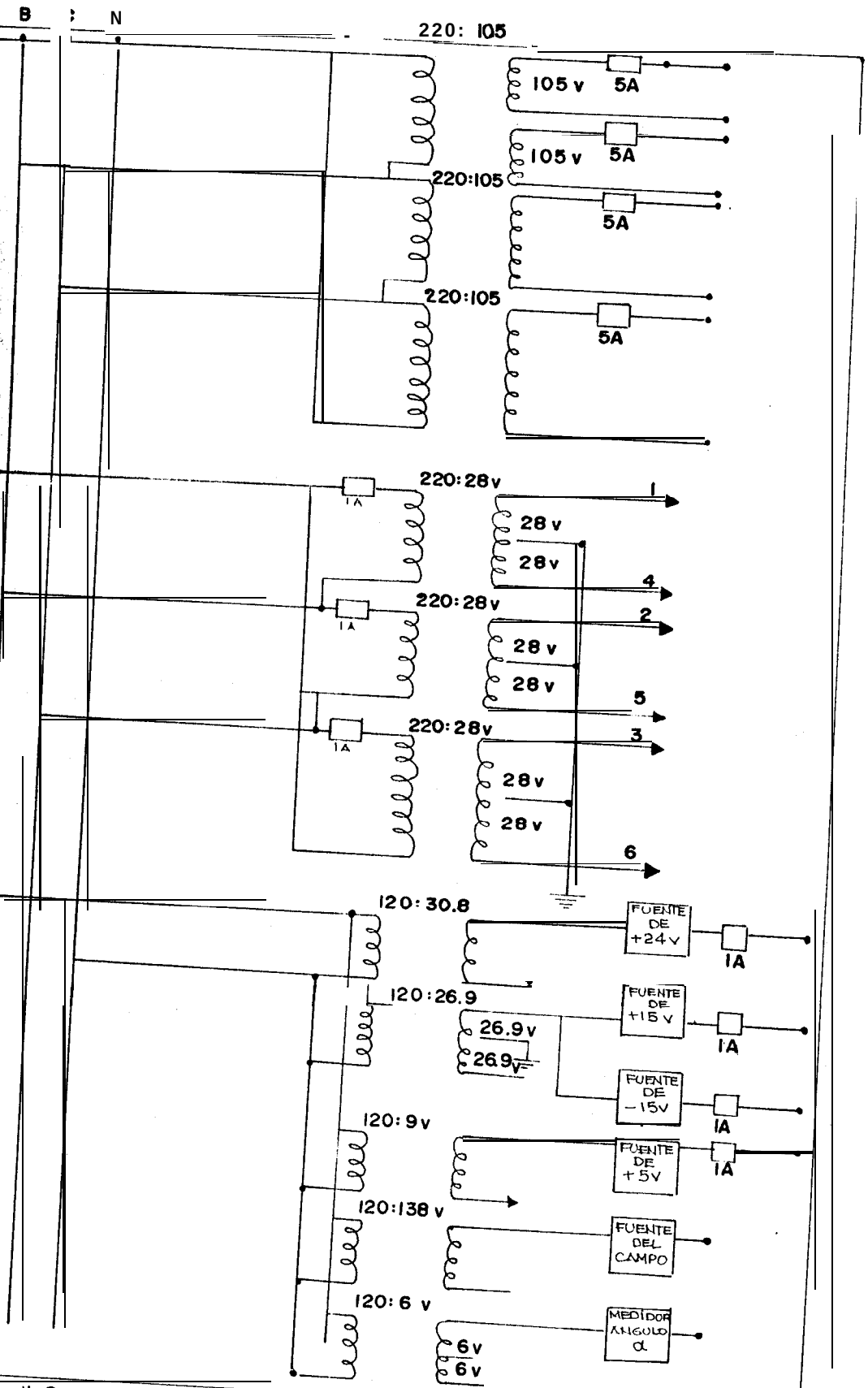
Uno de 120 a 9 V (1 Amp en el secundario), para la fuente de +5 VDC.

2. PROTECCION DE SOERECORRIENTES.

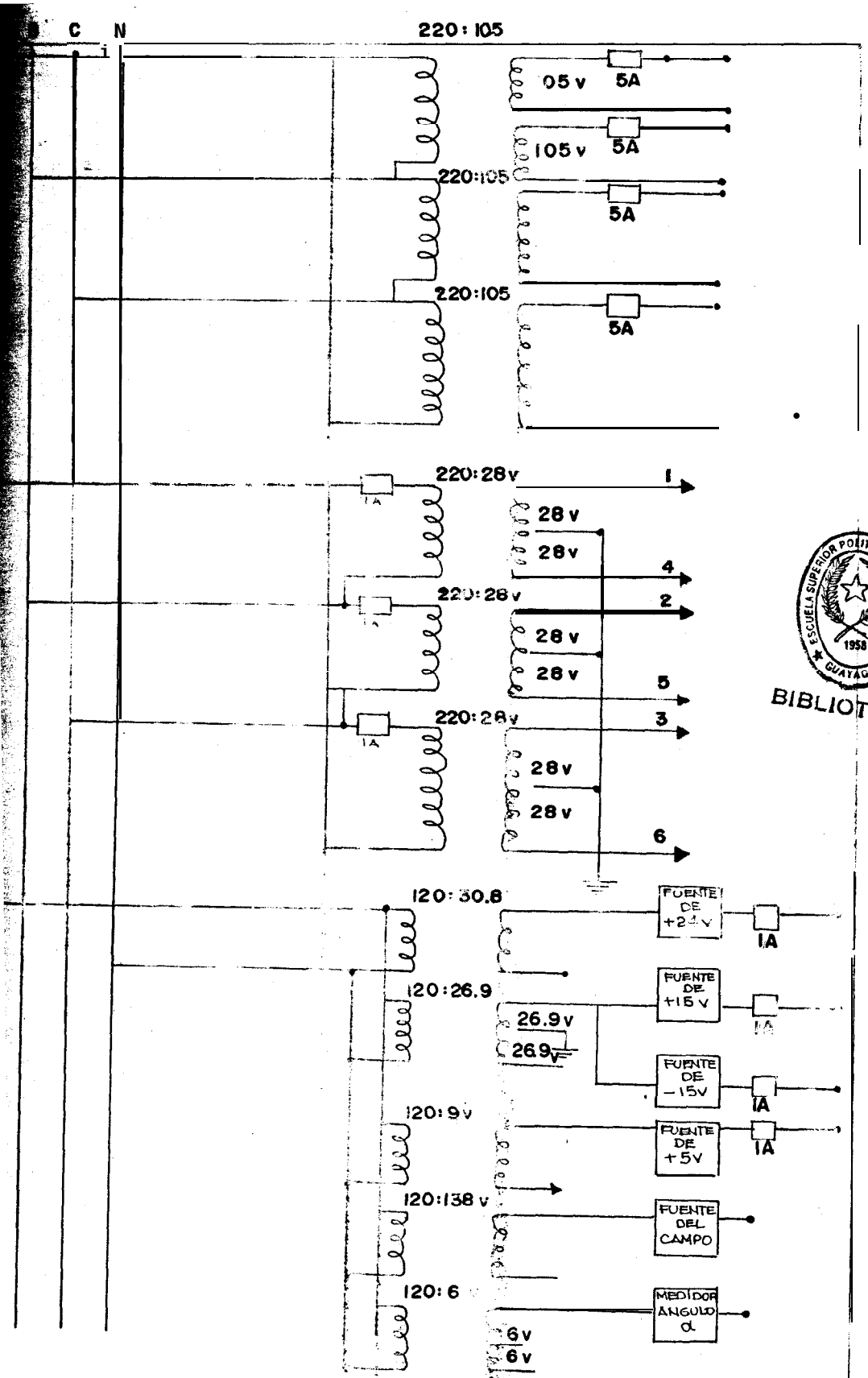
Como protección de sobrecorrientes, el equipo cuenta* con fusibles colocados en cada uno de los transformadores, ya sean estos de fuerza o de control, los cuales están indicados en la figura # 2.1 ; y dispuestos físicamente en el panel de fusibles; tenemos el Interruptor trifásico SA de 10 Amp. y un Interruptor magnetotérmico de 10 Amp., monofásico, este interruptor va conectado a la salida del convertidor Y en serie con la carga; tambien en serie con la carga tenemos un fusible de protección que se suele poner de 5 o 10 Amp.

ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DEL LITORAL 1958 GUAYAQUIL
BIBLIOTECA

Se tiene además un circuito de protección de los tiristores para el dv/dt, con el objeto de evitar el encendido erróneo del tiristor debido al transiente de voltaje; se usó circuito RC en paralelo con cada tiristor. Se usaron resistencia de 33 ohmios, 2.5 W y un condensador de 0.1 uf 630 V no polarizado; en la siguiente figura se observa un diagrama de conexiones de transformadores y fusibles.



a # 2.1.- Diagrama de Transformadores y Fusibles



ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DEL LITORAL
1958
GUAYAQUIL
BIBLIOTECA

gura # 2.1.- Diagrama de Transformadores y Fusibles

RECTIFICACION Y FILTRADO.

Para el circuito de control tenemos cuatro fuentes de alimentación DC; +24 V,+15 V, -15 V, y +5 V.

La fuente de +24 V, polariza los transistores de las tarjetas que generan el pulso del disparo de los tiristores. La fuente de +5 V, alimenta los circuitos lógicos TTL, presentes en la tarjeta medidor de ángulo de disparo y la interfase analógica-digital-analógica .

La fuente de +15 V, y -15 V, polarizan los circuitos OPAMP que se utilizan en las tarjetas de realimentación y circuito de control Vx.

Para el diseño de las fuentes de +24 V, +15 V y -15 V, se usaron puentes rectificadores de onda completa ; y para la regulación de voltaje se usaron circuitos integrados reguladores de voltaje , 3 reguladores son los que se necesitan :

Tipo	Potencia entrada	Voltaje entrada	Voltaje salida	Corriente
SK3670/972	15 w	40 v	24 V	1 A

SK3593/968	15 w	35 v	15 v	1 A
SK3674/969	15 w	35 v	-15 v	1 A

Para la fuente de + 40 VDC, 0.5 Amp como se quería un rizado menor al 5% ,y se usó un rectificador de onda completa usando las relaciones del apéndice B, referencia 1 , con r=0.05:

$$\frac{Vcc}{Vm} = 0.92 ;$$

$Vm = Vcc/0.92 = 40/0.92 = 43.5$ V

$Vs = Vm / \sqrt{2} = 43.5/12 = 30.8$ V

Vs es el voltaje rms del secundario del transformador usado.

En la misma referencia 1, apéndice B tenemos en 14.7c

$$Vr(rms) = \frac{2.4\ Icc}{C} \quad Y \quad r = \frac{Vr\ (rms)}{vcc} \times 100;$$ tenemos:

$$C = \frac{2.4\ Icc}{Vcc \times r} \times 100 = \frac{2.4 \times 500}{40 \times 5} \times 100 = 600 \text{ uf}$$

Para la fuente de 35 V.0.5 Amp:

$Vm = 35/0.92 = 38$ V

$VS = 38/\sqrt{2} = 26.9$ V

$$c = \frac{2.4 \times 500}{35 \times 5} \times 100 = 685{,}7 \text{ uf}$$

Para la fuente de +5 voltios se uso un rectificador de onda completa y también un 'circuito regulador ECG 960 el cual provee un voltaje fijo de +5 voltios y su salida se conectó a un transistor que ayuda a manejar la corriente requerida. Se uso un transformador de +9 voltios rms en BU secundario; con ayuda de un potenciómetro se fijo experimentalmente la salida de la fuente, asi se obtuvo que para 0.3 Amp de carga el voltaje de la'fuente era 5,2 V y para 1.5 Amp el voltaje es 4.6 V. En condiciones normales de operación del equipo esta fuente suministra 1.2 Amp con un voltaje de salida de 4.9 voltios.

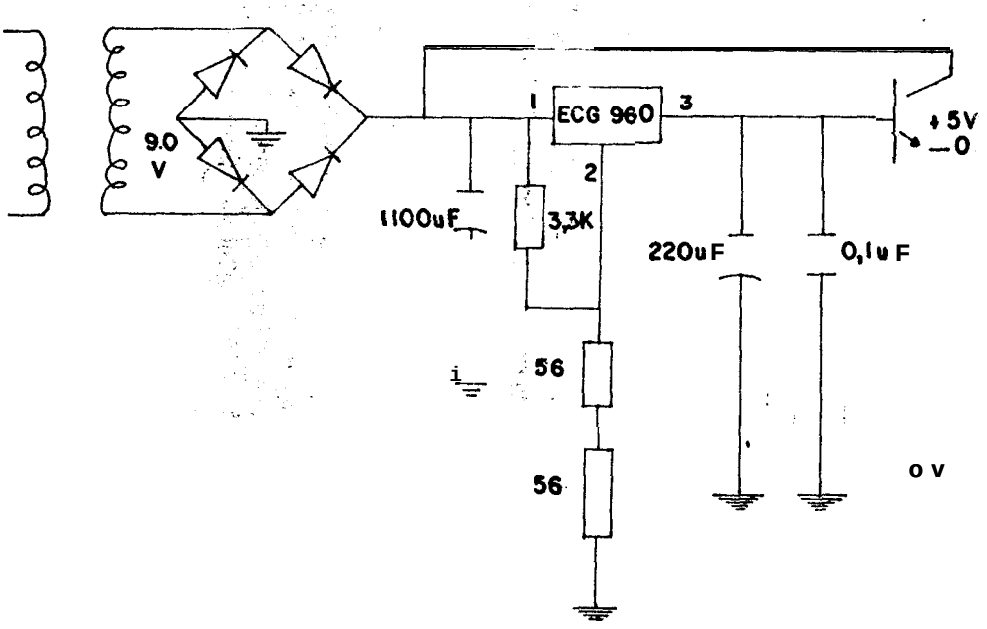


Figura # 2.2 .- Fuente de +5 V.

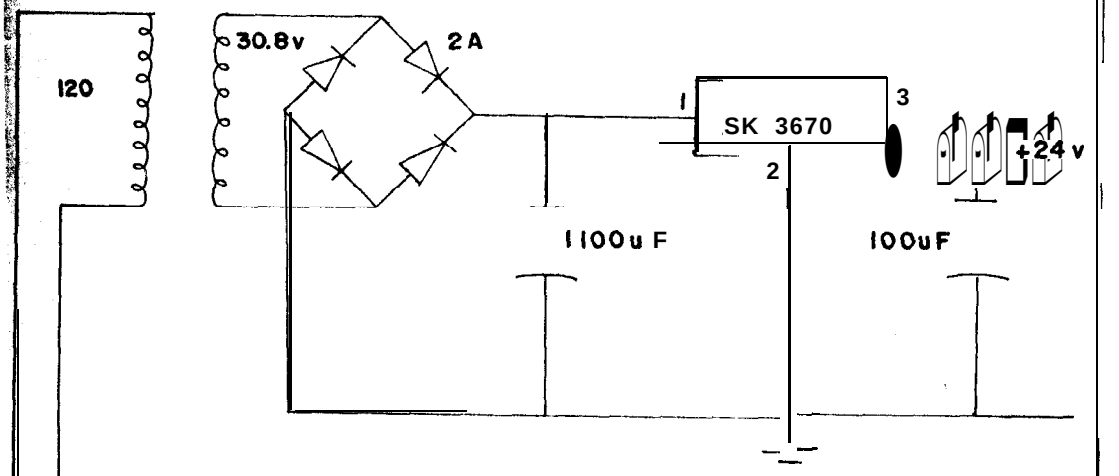
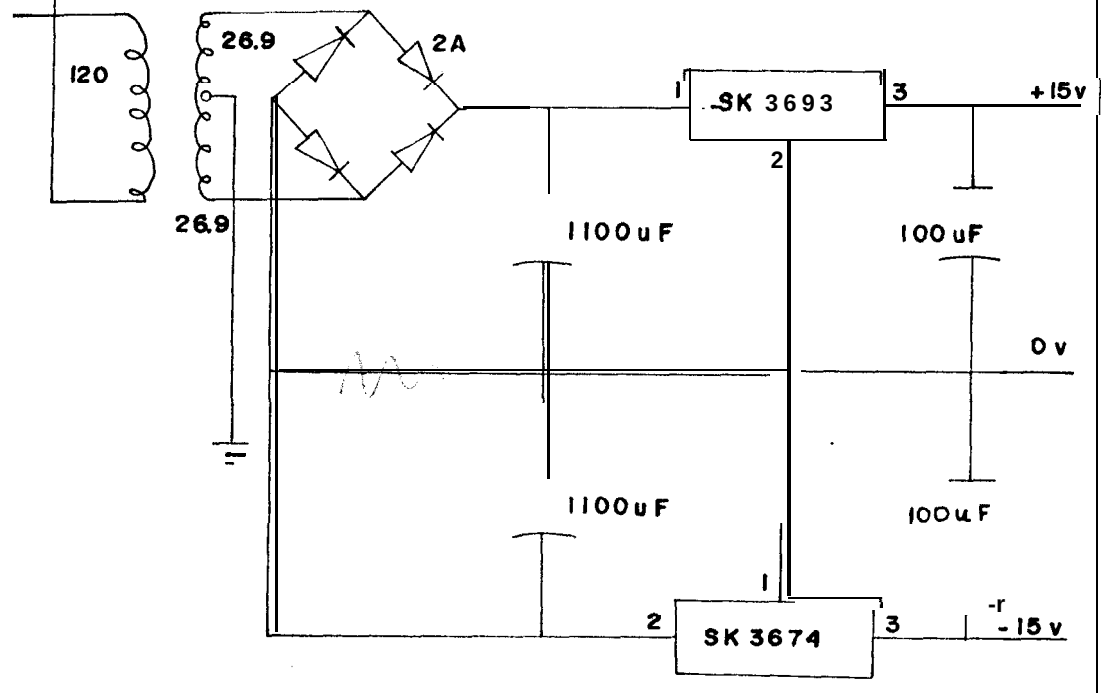


Figura # 2.3.- Fuente de +24 VW:.



Figura# 2.4.- Fuente de+15 V y -15 V.

2.3. CIRCUITO DE CONTROL DE VOLTAJE DE REFERENCIA.

Incluído en la tarjeta de las fuentes tenemos los circuitos de control del voltaje de referencia. Este circuito tiene conección directa al tablero de control del equipo al potenciómetro "REFERENCIA" y el Switch llamado "POLARIDAD". El potenciómetro referencia tiene en un extremo +15 V, y en su terminal central obtenemos un voltaje DC variable, eáte voltaje ingresa al pin 3 de un OPAM 741 que trabaja como amplificador no inversor de ganancia unitaria. en su pin 6 tendremos un voltaje variable de signo positivo que se conecta; por un lado al tablero a un borne del switch polaridad y por otro lado al otro OPAMP 741 que trabaja como amplificador inversor cuya salida dará un voltaje variable negativo el que se conectará al otro borne del switch polaridad; así ese switch se permitir& escoger cualquiera de los dos voltajes de salida de este circuito. positivo o negativo. El voltaje escogido estará presente en el terminal Tl del tablero de control: el diagrama de este circuito se ilustra en la Figura # 2.5.

El voltaje presente en el terminal 'íi es el que se usa para variar el ángulo de disparo. y se conectará directamente al terminal T9 para el caso de una configuracion lazo abierto: cuando se trata de una aplicación del convertidor considerando realimentación este voltaje sera la referencia

de corriente, de velocidad o de voltaje de armadura, según sea el caso.

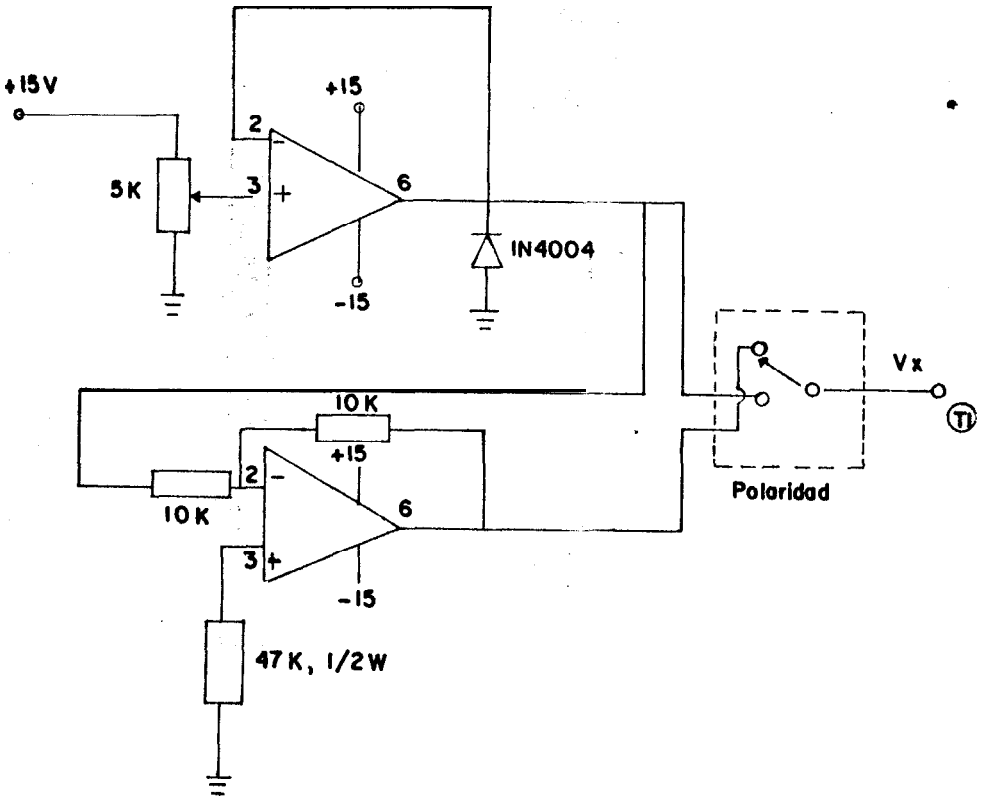


Figura # 2.5 .- Circuito de Control de voltaje VX.

CAPITULO III

CIRCUITOS DE DISPARO

Loe circuitos de disparo están diseñados y ajustados para que el ángulo de disparo varíe linealmente con el voltaje de control que este presente en el terminal T9 del tablero y que para el caso de lazo abierto será el voltaje de referencia; este es un voltaje DC que está presente en el terminal Tl, su valor se varia con el potenciómetro de REFERENCIA. Para el caso de realimentación, el voltaje de control presente en el terminal T9 del tablero será el voltaje Vci proveniente del controlador de corriente, es decir del terminal T8; para cualquiera de los dos casos la variación del voltaje en T9 desde 0 a -10 voltios produce una variación en el ángulo de disparo 0 a 180 grados. Los pulsos de disparo tienen la potencia y duración necesarias para lograr el buen encendido del tiristor; mas, al igual que el equipo inglés, se dispuso de ráfagas de pulsos para disparar los tiristores, para esto se trabajó con circuitos TTL; se usaron los pulsos de disparo para disparar monoestables, cuyas salidas modularon una rafaga de pulsos, la cual finalmente ingresa a un circuito amplificador. Los circuitos de disparo son independientes pero ein embargo se pueden utilizar con un puente trifásico de onda completa, con seis tiristores por lo que cada circuito

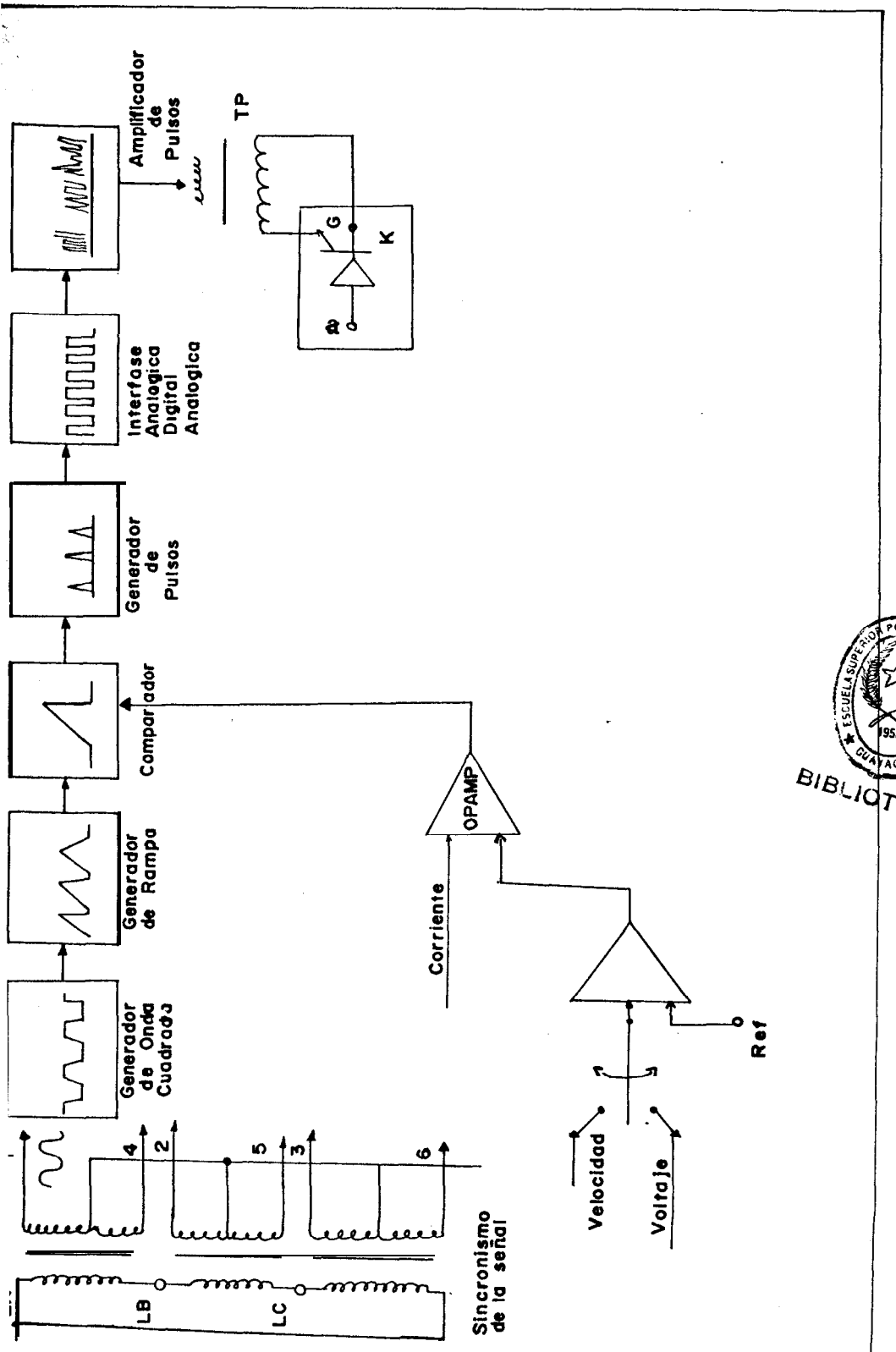
tiene al igual que el equipo Inglés conección al panel exterior a los terminales P y G que se utilizan de acuerdo a la secuencia de disparo así cada par de tiristores en conducción se encienda al mismo instante para una correcta sincronización. Cada circuito de disparo están hechos a base de transistores, estos circuitos reciben su señal de transformadores reductores que los sincronizan, con las fases correspondientes de cada linea, los circuitos de disparo constan de:

Un generador de Onda cuadrada que marca el inicio de la Fase para cada circuito.

Un generador de rampa que se alimenta de la señal del bloque anterior. y con su señal rampa de salida se determinará el voltaje al cual se producirá el pulso de disparo; la señal rampa tiene linealidad de la variación entre el ángulo de disparo y el voltaje DC presente en T9.

- Un comparador que proporciona la información del momento en que son iguales las señal rampa con el valor del voltaje DC en T9.
- Un generador de pulso, que con la información anterior produce el pulso en cada periodo.
- Un interfase analógica-digital-analógica, la cual produce una ráfaga de pulsos en lógica TTL sincronizados por el pulso generados,y modulada por la salida de un monoestable.

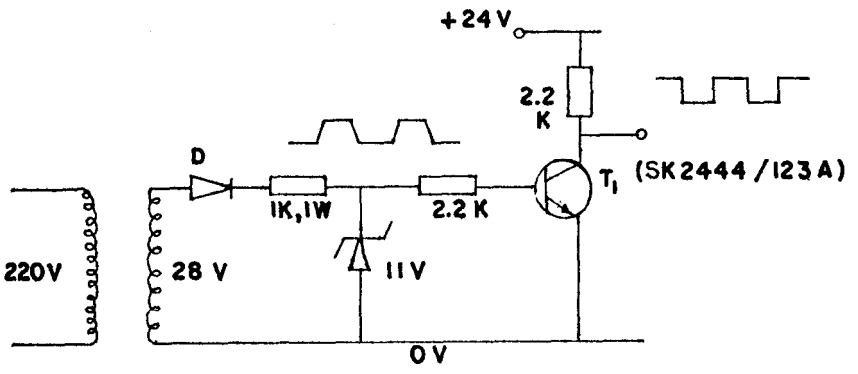
Un amplificador de pulsos, el cual aumenta la potencia de



ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA 1958 GUAYAQUIL
BIBLIOTECA

Figura # 3.1.- Diagrama de Bloques del Circuito de Disparo.

los pulsos de la ráfaga de la tapa anterior proporcionándole8 la corriente necesaria para encender los tiristores.



ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DEL LITORAL 1958 GUAYAQUIL
BIBLIOTECA

Figura # 3.2.- Generador de Onda Cuadrada.

GENERADOR DE ONDA CUADRADA.

El circuito Generador de onda cuadrada se sincroniza con el el voltaje de alimentación, por medio de los transformadores de sincronismo, los cuales toman el voltaje de línea y lo reducen a 28 voltios rms. La onda cuadrada la obtenemos del colector de un transistor, el cual trabaja en corte y saturación y recibe una preseñal en su base; la salida del transformador de sincronismo se la pasa a través de un zener de ll voltios obteniendo así la preseñal mencionada; una resistencia de 1k limita la potencia disparada por el zener.

Como vemos la onda cuadrada tiene la misma frecuencia que el voltaje de línea; la salida del generador es de 0 a 5.4 voltios y esta señal se aplica a un circuito generador de rampa.

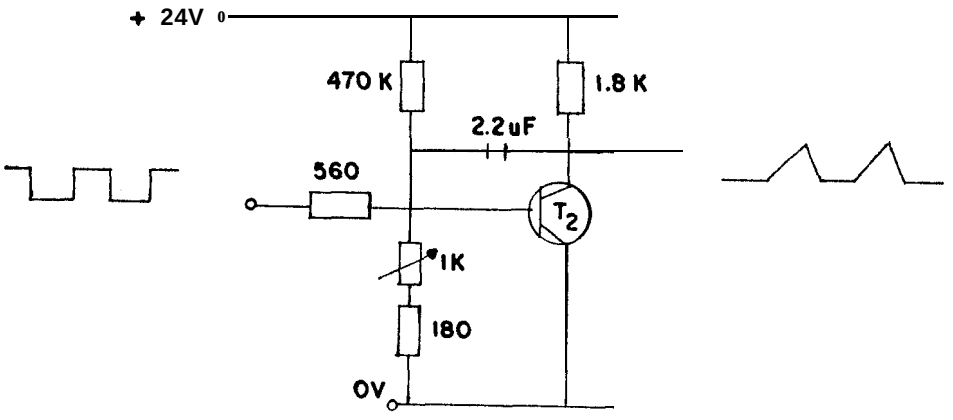


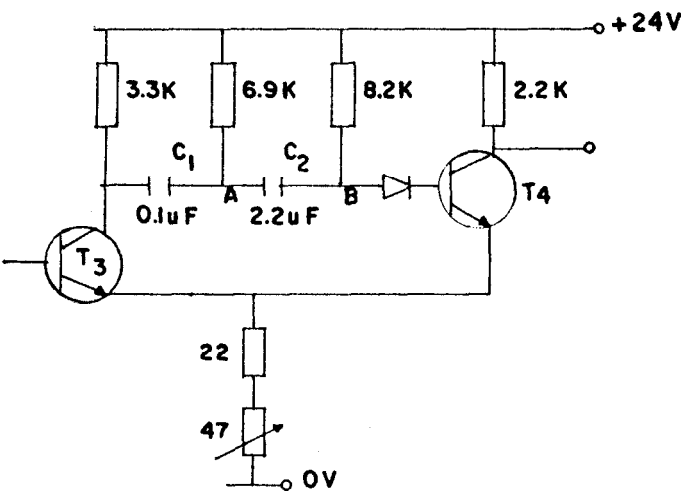
Figura # 3.3.- Generador de Rampa.

. GENERADOR DE RAMPA.

La señal rampa tiene como característica una recta con pendiente positiva para el gráfico de voltaje versus tiempo durante el semiciclo positivo del voltaje aplicado al tiristor; esta señal es la que determina que el ángulo de disparo varíe linealmente con el voltaje de control aplicado al terminal T9.

Cuando el voltaje de la Onda cuadrada es cero se carga el condensador de 2.2uf, la corriente en la base de T2 disminuye con el tiempo y así se genera la señal rampa en el colector de T2.

-Se permite mediante el reostato de 1K tener una variación en la rampa entre 0 y 15 voltios ; el capacitor se descarga a través de T2 cuando este se satura.



ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DEL LITORAL
1958
GUAYAQUIL
BIBLIOTECA

Figura # 3.4 .- Comparador y Generador de Pulsos.

3. COMPARADOR Y GENERADOR DE PULSOS

El instante en que se debe producir el pulso de disparo es determinado por el comparador, se realiza la comparación entre la rampa y el voltaje de control aplicado a T9 y el comparador indica el instante en el que ambos voltajes tienen el mismo valor absoluto, ya que la rampa varía entre 0 y 10 voltios, y el voltaje de control entre 0 y -10 voltios.

Cuando ambas señales tienen el mismo valor absoluto, el transistor T3 se satura, provocando que se carguen rápidamente los condensadores Cl y C2 a través de T3 y T4 respectivamente; al saturarse T3 provoca que el transistor T4 se apague durante un pequeño instante de tiempo, produciéndose un pulso de voltaje en el colector T4.

Como los elementos en los 6 circuitos no son exactamente iguales, una pequeña resistencia variable conectada en el emisor de los transistores sirve para calibrar que el disparo se produzca en la misma fase en todos loa circuitos de disparo.

SINCRONIZACION DE MS PULSOS DE DISPARO.

Es posible utilizar cualquiera de los 6 tiristores de que dispone el equipo porque se tiene acceso a cualquiera de los circuitos de disparo para escoger el pulso adecuado que dispare el tiristor; en la sección anterior vemos la generación del pulso, la cual ocurre en cada una de las 6 tarjetas y como son dos pulsos defasados 180 grados los que se producen en cada fase.Tendremos en total 6 pulsos defasados 60 grados entre si en la siguiente forma: P1 y P4 para la fase A, P2 y P5 para la fase B, P3 y P6 para la fase C. En la figura 3.5 se indica el rango de acción de cada uno de los pulsos.

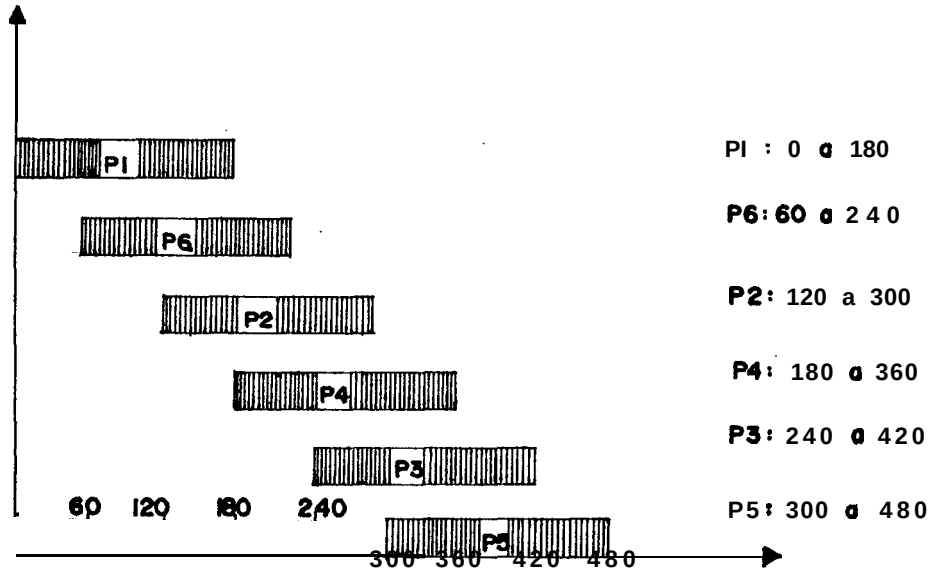


Figura # 3.5.- Rango de acción de los 6 pulsos de Disparo

Como puede verse cada par de pulsos barre los 360 grados de un ciclo de la señal alterna de la fase correspondiente, asi cada pulso se mueve desde 0 A 180 grados en la semionda en la que va a moverse a medida en que se varíe el voltaje de control terminal T9, Vx . Los pulsos estarán presentes en loe terminales "P" del tablero de conecciones, donde tenemos tambien los terminales "G" en los cuales se conectan los pulsos adecuados para el funcionamiento del rectificador. Cuando se utiliza un puente de tiristores en configuración rectificador de onda completa, trifásico totalmente controlado, se debe sincronizar los pulsos entre los diferentes circuitos de disparo, ya que la conducción se

realiza por pares de tiristores y los pulsos deben . llegar simultáneamente a ambos; el sincronismo del disparo se lo realiza por medio de los terminales "P" y "G".

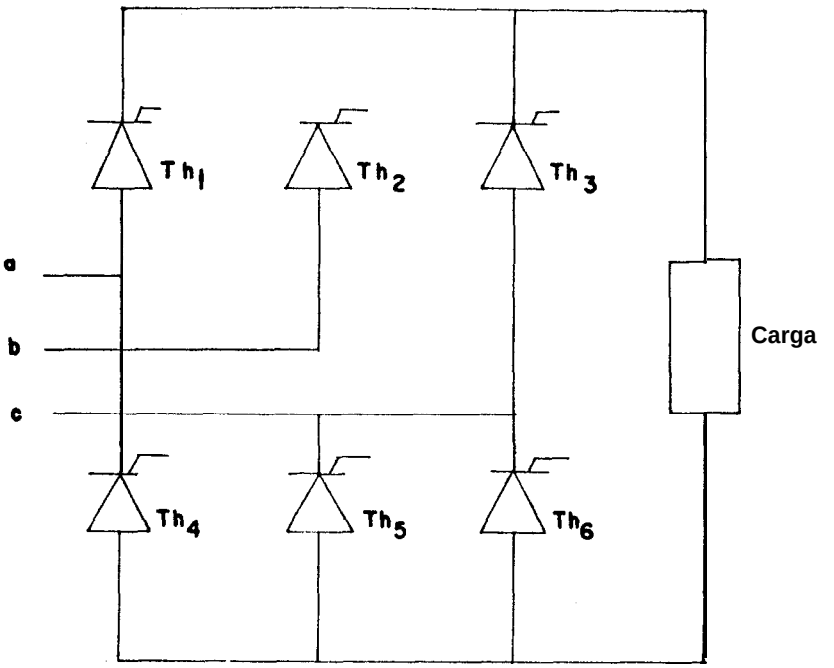
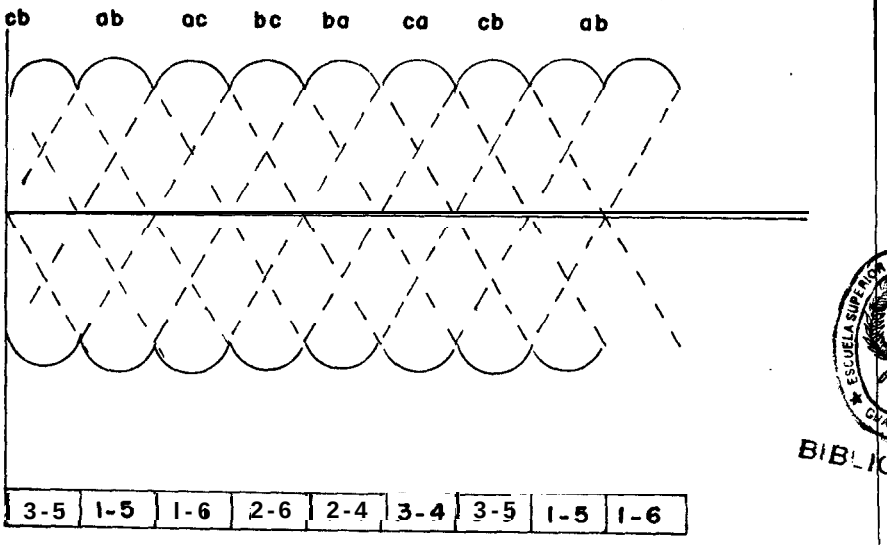


Figura # 3.6.- Puente Trifásico de 6 Tiristores Onda Completa. Control Completo



ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DEL LITORAL 1958 GUAYAQUIL
BIBLIOTECA

Figura # 3.7.- Secuencia de Disparo del arreglo mostrado en la figura # 3.6.

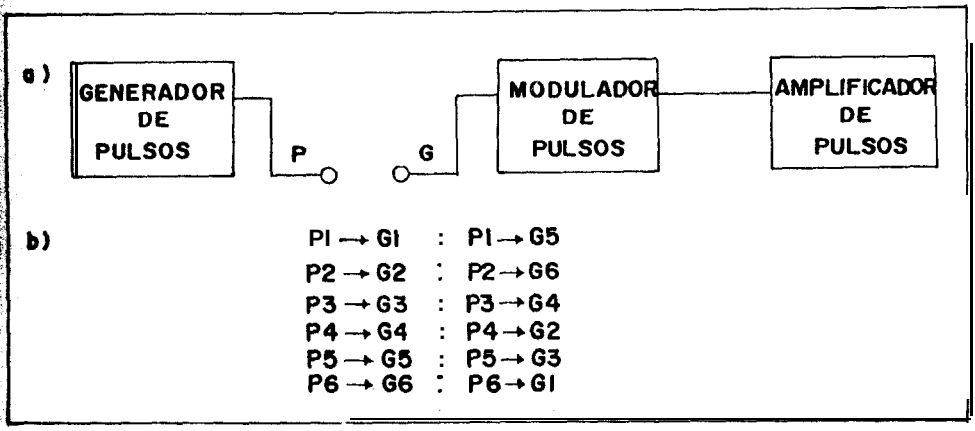

a)
GENERADOR DE PULSOS
P
G
MODULADOR DE PULSOS
AMPLIFICADOR DE PULSOS
b)
P1 → G1 : P1 → G5
P2 → G2 : P2 → G6
P3 → G3 : P3 → G4
P4 → G4 : P4 → G2
P5 → G5 : P5 → G3
P6 → G6 : P6 → G1

Figura # 3.8.- a) Localización de los terminales P y G.
b) Conecciones necesarias para secuencia de la figura # 3.6.

MODULACION DE PULSOS DE DISPARO EN LOGICA TTL.

Los pulsos de disparo generados en cada tarjeta son pulsos de 24 voltios; mediante un divisor consigo bajar esos pulsos de 24 voltios a 5.1 voltios y luego, mediante un inversor, tendré los pulsos invertidos que son los que dispondré en los terminales "P", ubicados en el panel, asi luego esta señal se la conecta por el panel exterior a los terminales "G", éstos son las entradas de una puerta lógica, cuya salida me dara la suma de las dos entradas "G, esta sena1 ingresara al PIN 2 disparador de un circuito monoestable, la salida de este 555 multiplicará con la señal ráfaga procedente del circuito generador astable, asi tenemos entonces una ráfaga de pulsos, cada vez que un pulso de disparo es generado a un ángulo alfa, esta ráfaga tendrá aproximadamente 1.5 ms de duración, luego debemos regresar esta señal digital a su tarjeta analógica, es decir debo elevarle el voltaje de +5 nuevamente a 24 voltios. Esto lo hago utilizando un transistor que trabaja en corte y saturación, entonces ingresará ya al circuito amplificador de pulsos. A continuación ilustro algunos aspectos del diseño del circuito generador astable.

En la figura 3.9 se aprecia un IC 555 que se utiliza como multivibrador astable para generar 1a señal de 10 Khz, que es la ráfaga de pulsos. Los tiempos de carga y descarga, el

período y la frecuencia de operación de este circuito está calculado así:

T alto = 0.693 (Ra + Rb) C Rb = 0

Ra = 4.7k

T alto = 0.039 mseg C = .0121 uf

T bajo = 0.693 Rb.C Rb = 7.2 K

T bajo = 0.06 mseg

T total= 0.1 mseg = T $f = \frac{1}{T} = 10$ Khz

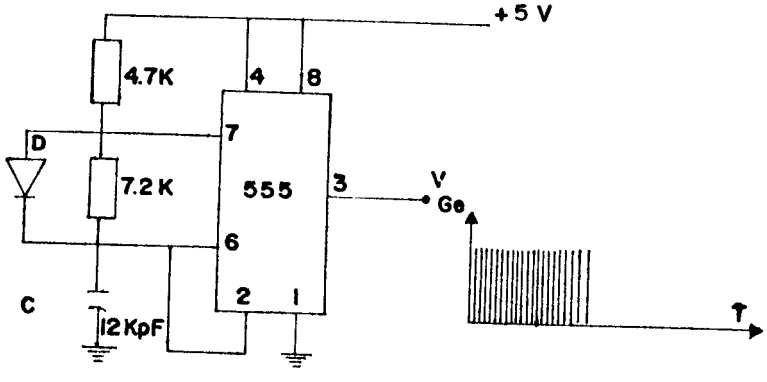


Figura # 3.9 .- Generador Astable

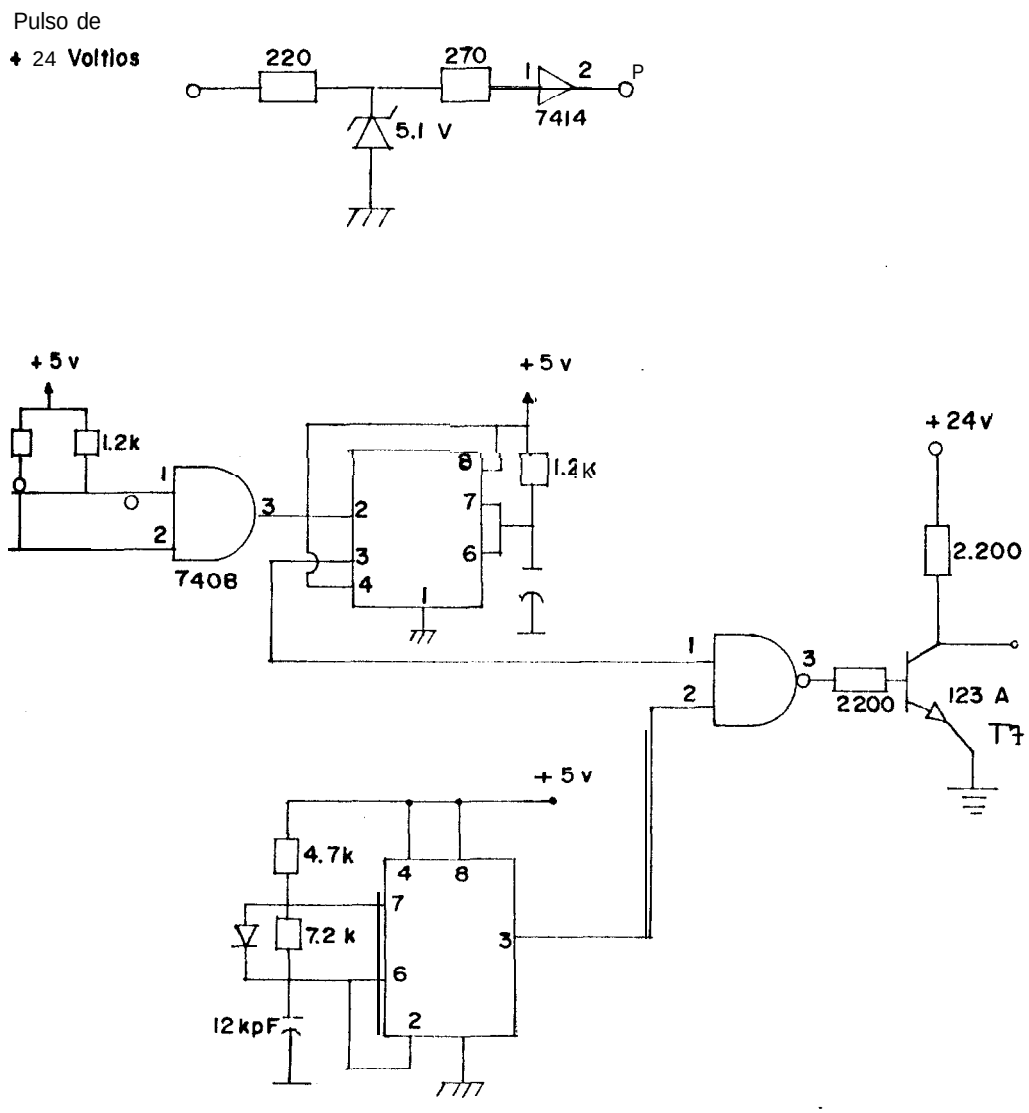


Figura # 3.10 Diagrama del Circuito Modulador de Pulsos.

3.6. CIRCUITO AMPLIFICADOR DE PULSOS.

El amplificador de pulsos tiene por finalidad aumentar el tamaño y la potencia de la ráfaga de pulsos que se obtiene a la salida de la interfase analógica-digital-analógica. En este circuito se utilizan transformadores de pulsos para aislar las puertas de los tiristores del amplificador. En la figura 3.11 muestran el circuito amplificador de pulsos. El transistor T5 preamplifica la corriente de los pulsos y su emisor se conecta por una pequeña resistencia a la base de transistor T6, de mayor potencia y de la misma manera amplifica más la señal. Al emisor T6 está conectado el primario de transformador de pulsos con relación 1:1. Existe un diodo en paralelo al primario para contrarestar el efecto de la fem inducida en la bobina; un diodo en el secundario protege la puerta del tiristor de tensiones negativas, que puedan causarle daño.

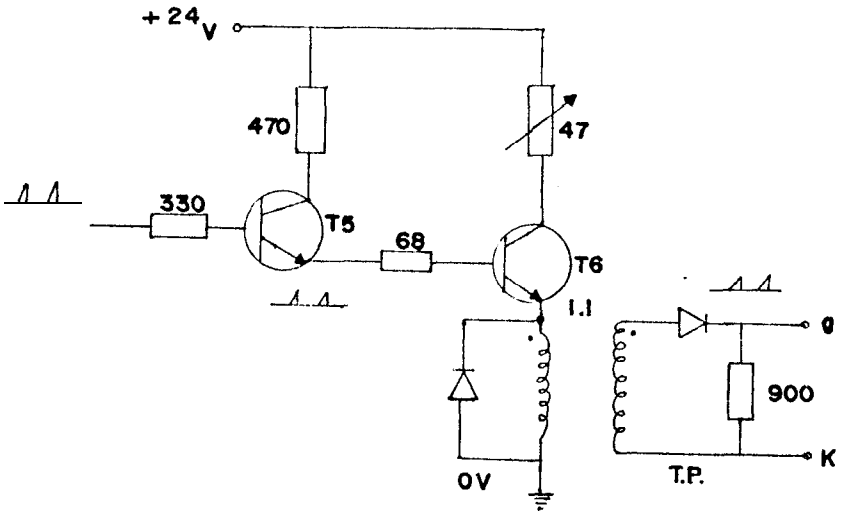
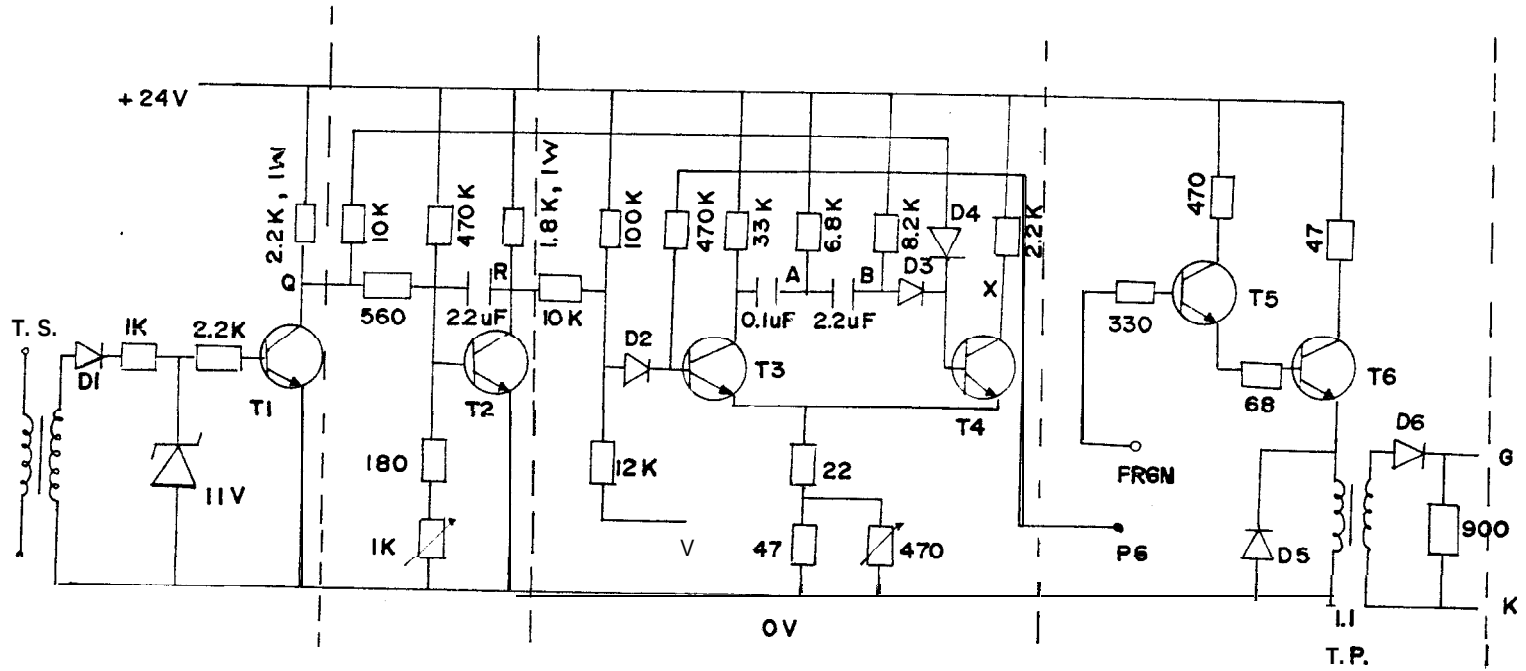


Figura # 3.11.- Circuito Amplificador de Pulsos.

Figura # 3.12.- Diagrama de la Tarjeta del Circuito Generador de Pulsos.



Generador de **onda Cuadrada**

Generador de Rampa

Comparador y Generador de **pulsos**

Amplificador de Pulsos

DI a D4 : diodos Ge **(SK3087)**
D5 a D6 : diodos SI (SK3100/519)
TI a T5 : Transistores (SK3444/123A)
T6 : Transistor (SK3024/128)
T. S. : Transformador de sincronismo
T. P. : Transformador de Pulsos **(3295)**

CAPITULO IV

TEORIA DE RECTIFICADORES

Los rectificadores controlados forman la gran mayoría de convertidores que emplean los semiconductores de poder. Ellos se usan para variar el valor promedio del voltaje directo aplicado a un circuito de carga , introduciendo tiristores entre el circuito de carga y una fuente AC de voltaje constante.

Los distintos montajes rectificadores que pueden obtenerse con SCR'S no varían de los constituídos por diodos rectificadores monofásicos de media onda y de onda completa; rectificadores trifásicos de media onda y de onda completa; etc. Sin embargo, el uso de elementos rectificadores introduce una nueva posibilidad, en los rectificadores puentes, asi en ellos se puede realizar rectificadores en los que la mitad de los rectificadores son controlados y la otra mitad no. Esto se lo conoce como rectificación semicontrolada.

Los rectificadores controlados pueden ser usados en circuitos de control , y ser usados en sistemas de control de lazo cerrado, donde ellos funcionan como amplificadores

operacionales de alto poder en los cuales el ángulo al cual el tiristor se enciende, es variado en respuesta a una señal de error. Como vemos una gran variedad de rectificadores controlados pueden ser construídos, y cada uno puede ser clasificado, de 2 maneras, puede ser clasificado de acuerdo al numero de fases de la fuente de voltaje alterna suministrada. o podría ser clasificada de acuerdo al número de pulsos de corriente que pasan a través del circuito de de carga durante un ciclo de la fuente de voltaje.

Hablaremos entonces aquí de cuatro diferentes tipos de rectificadores.

4.1. RECTIFICADOR MONOFASICO DE MEDIA ONDA.

Los rectificadores de media onda poseen un dispositivo rectificador en cada línea de alimentación y tienen una neutro como retorno de corriente. En la figura 4.1 se ilustra el Rectificador monofásico de media onda, se indica la forma de onda de voltaje en la carga y en el tiristor para un ángulo de disparo comprendido entre 0 y 90 grados.

1.2 RECTIFICADOR MONOFASICO DE ONDA COMPLETA

Los rectificadores monofásicos de onda completa son en realidad dos conexiones de media onda en serie; una de ellas

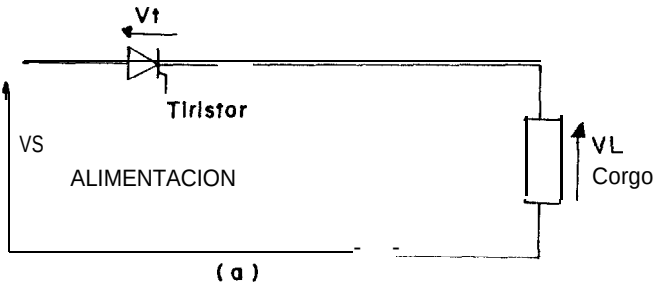
lleva la alimentación de corriente a la carga, y la otra realiza el retorno de la corriente directamente a la alimentación A.C. sin necesidad de neutro. En la figura 4.2 se muestra un circuito de rectificación monofásica de onda completa. Aquí se utilizan cuatro tiristores para obtener control completo sobre el puente rectificador se indica además la forma de onda de voltaje de alimentación, el voltaje en la carga y la caída de voltaje en el tiristor 1. Aquí se puede observar que en cada semionda conducen un par de tiristores, uno en el camino de ida y el otro para camino de retorno. El tiristor tiene que soportar un voltaje de pico inverso igual al voltaje de pico máximo de alimentación.

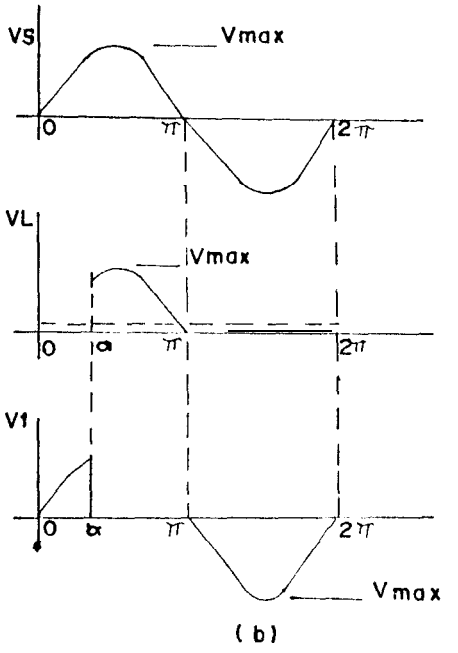
RECTIFICADOR TRIFASICO DE MEDIA ONDA.

Para este tipo de Rectificadores no es necesario un neutro como camino de retorno para la corriente en el trifásico el ángulo de disparo será contado como 0 desde el instante de conmutación natural y no desde el cero del voltaje de alimentación.,

En la figura 4.3 se ilustra el circuito utilizado en puente trifásico de media onda se indican los voltajes de línea a neutro, los voltajes en la carga de voltaje en el tiristor 1.

En la figura 4.4 se muestra el arreglo para la configuración trifásica de onda completa, con seis elementos rectificadores en puente. Como vemos la frecuencia del voltaje en la carga es seis veces la un línea. Esto permite obtener un alto Vdc. como vemos en este tipo de configuración se obtiene el mayor voltaje continuo, en relacion a las configuraciones anteriores.





VS: Voltaje de Alimentocton

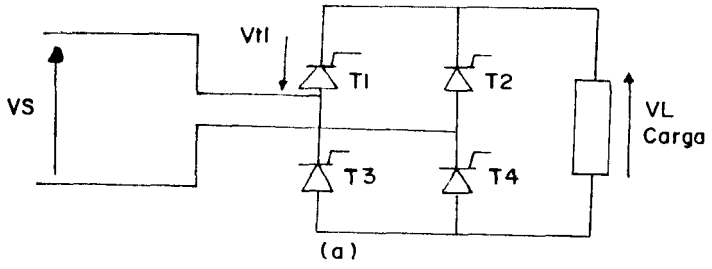
VL: Voltaje en lo cargo

Vt : Caida de Voltaje en el Tiristor

Figura # 4.1.- Rectificación Monofásica de Media Onda

a) Circuito Rectificador

b) Angulo de Disparo entre 0 y 90 grados



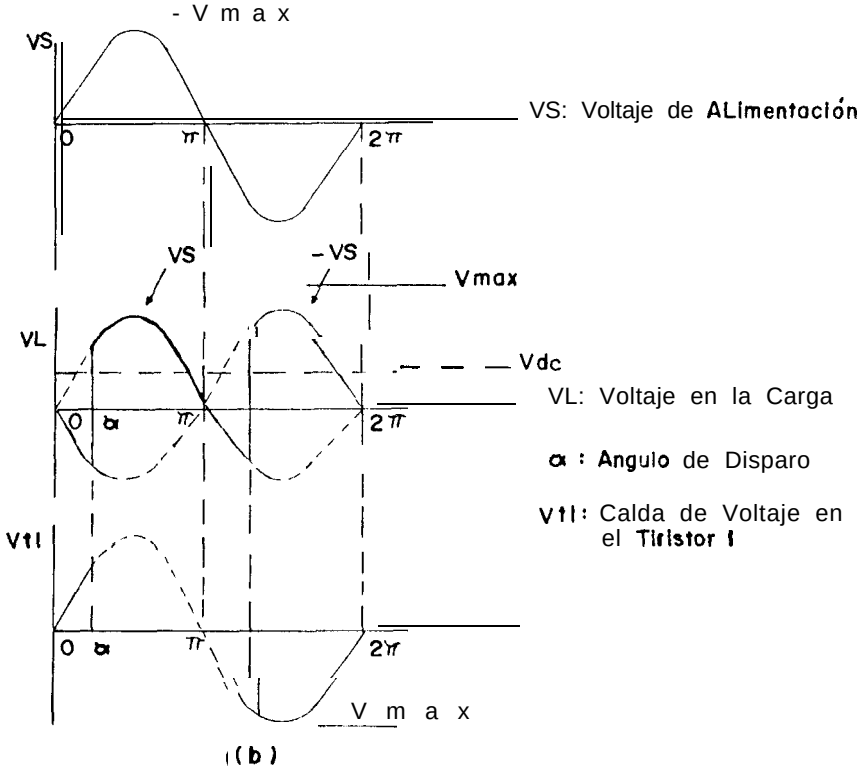
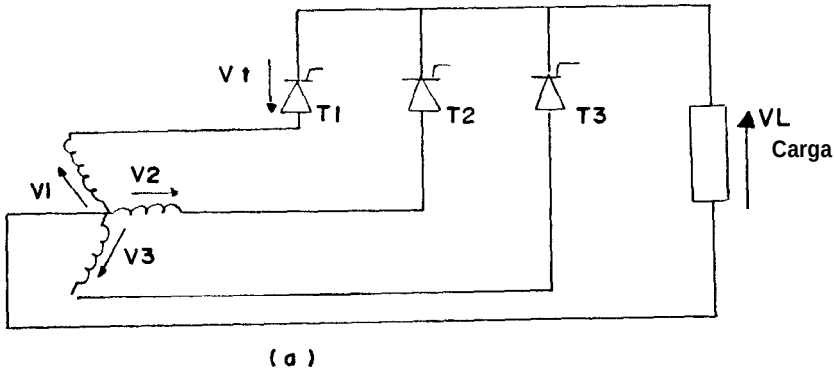


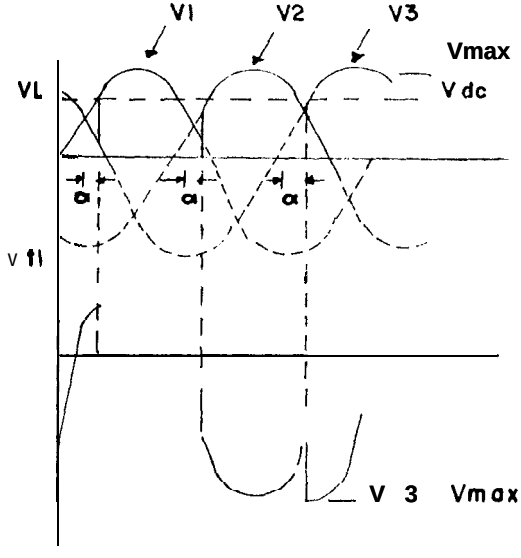
Figura # 4.2.- Rectificación Monofásica de Onda Completa.

a) Circuito Rectificador.

b) Angulo de Disparo entre 0 y 90 grados.



(a)



(b)

VI, V2, V3 : Voltaje de linea a neutro de alimentacion

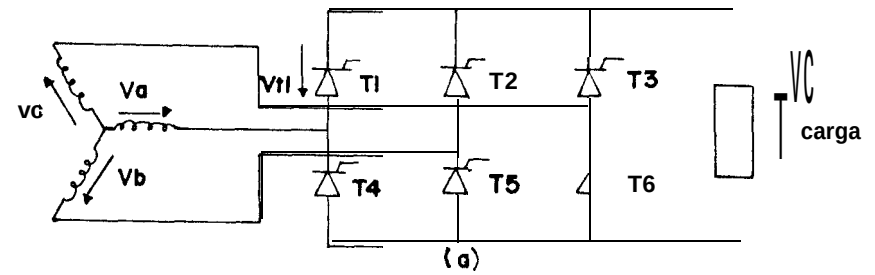
VL : Voltaje en la carga

VTI : Caida de Voltaje en el tiristor I

Figura # 4.3.- Rectificación Trifásica de Media Onda

a) Circuito Rectificador.

b) Angulo de Disparo entre 0 y 90 grados.



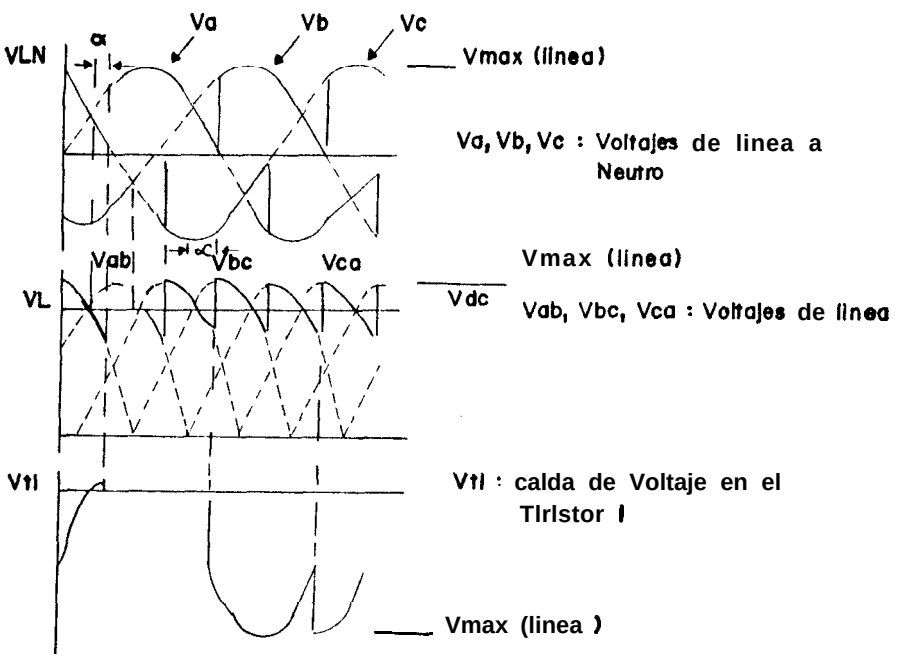


Figura # 4.4.- Rectificación Trifásica de Onda Completa

a) Circuito Rectificador.

b) Angulo de Disparo entre 0 y 90 grados.

CAPITULO V

CONTROL DE VELOCIDAD DE UN MOTOR DE CORRIENTE CONTINUA

Como parte de las prácticas que se realizan en laboratorio de controles industriales electrónicos se realiza el control de velocidad de un motor DC. En la figura 5.2 se observa el diagrama de bloque completo de la forma de controlar la velocidad o el voltaje junto con la corriente de un motor DC. A continuación se presenta un modelo de un motor DC.

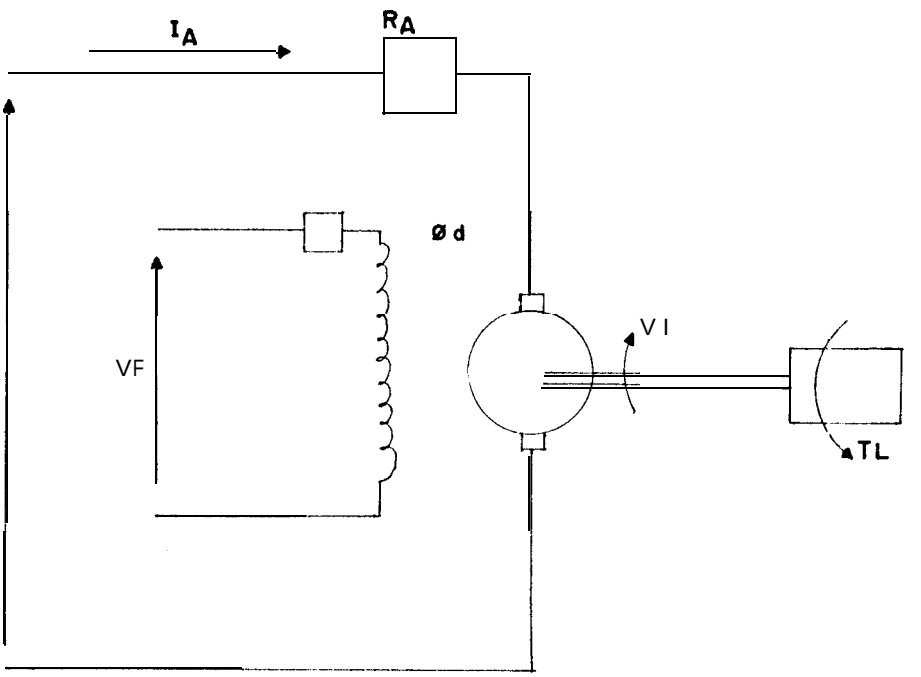


Figura # 5.1.- Modelo de un Motor DC .

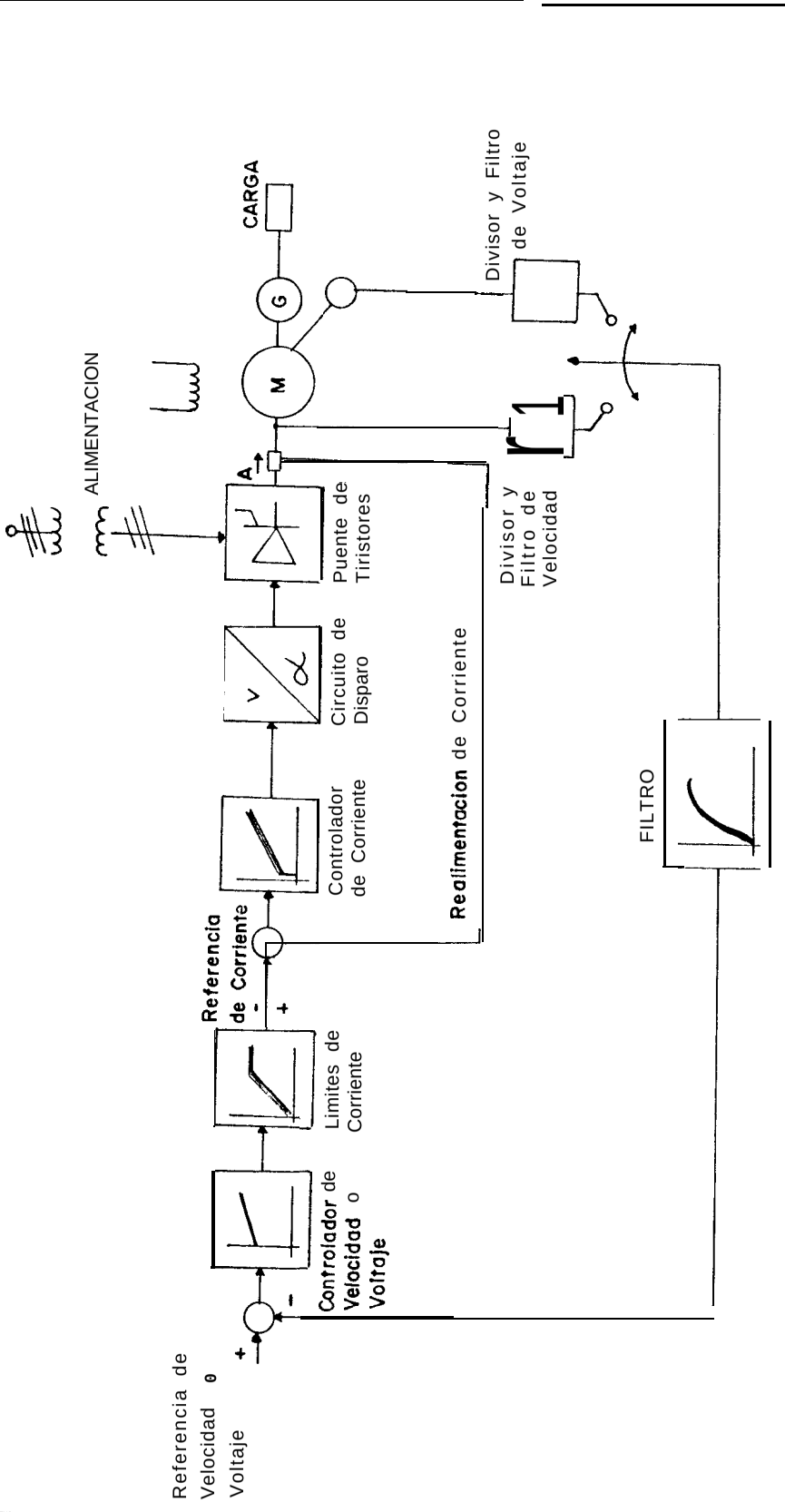


Figura # 5.2.- Diagrama de Bloques del Sistema de Control del Motor DC.

La velocidad de un motor DC está definida por:

$$W = \frac{Va - RaIa}{Ka\Phi d}$$

Entonces si variamos la velocidad del motor, variando el voltaje de alimentación de la armadura Va, para hacer este control podemos utilizar una configuración en lazo abierto o en lazo cerrado.

Para efectuar una práctica de lazo abierto simplemente se conecta la salida del voltaje de referencia que está en el terminal llamado T1 al T9 por el cual ingresa ya al circuito de control. Para un sistema de lazo abierto la velocidad del motor se la varía tan solo mediante la variación del voltaje del terminal Tl, mediante el potenciómetro REFERENCIA con lo se varía el ángulo de disparo de los Tiristores que conforman el rectificador variando así el voltaje de alimentación a la armadura. En un sistema de Lazo cerrado se realimenta una muestra del parámetro de la máquina a ser controlado, mediante una red de realimentación hacia el sistema de control. Así se podrán realizar las siguientes experiencias en lazo cerrado.

1.- Corriente de armadura.

2.- Velocidad y corriente de armadura.

3.- Voltaje y corriente de armadura.

El lazo de corriente de armadura permitirá al sistema una respuesta rápida para variaciones en el voltaje de alimentación al convertidor y una buena protección al motor contra las altas corrientes en el arranque. Si utilizamos solamente este lazo, tendremos un sistema de control del torque del motor, pues este permanecerá constante a nivel de referencia fijado sin importar la variación de la carga. Para la realimentación de la velocidad, la carga del motor podrá variarse variando la resistencia de carga del generador acoplado. Tendremos que la velocidad se mantendrá constante y es realimentada a través de un filtro RC por el rizado que tiene la salida del tacómetro que esta acoplado al motor. La realimentación de voltaje de armadura es la otra experiencia que se puede realizar aprovechando el camino de realimentación de la velocidad y se puede observar su comportamiento para las diferentes cargas. Para cualquiera de las tres experiencias en lazos cerrados el voltaje de control que ingresar al terminal T9 ya no vendrá desde el terminal Tl si no desde T8, el cual es la salida de un controlador proporcional integral mediante un OP-AMP 741; si se trata de una realimentación de corriente de armadura se utiliza solo un OP-AMP el cual se indica en el tablero de conecciones. Si es un lazo doble se utilizan dos controladores PI indicados

también en el tablero Figura 5.3.

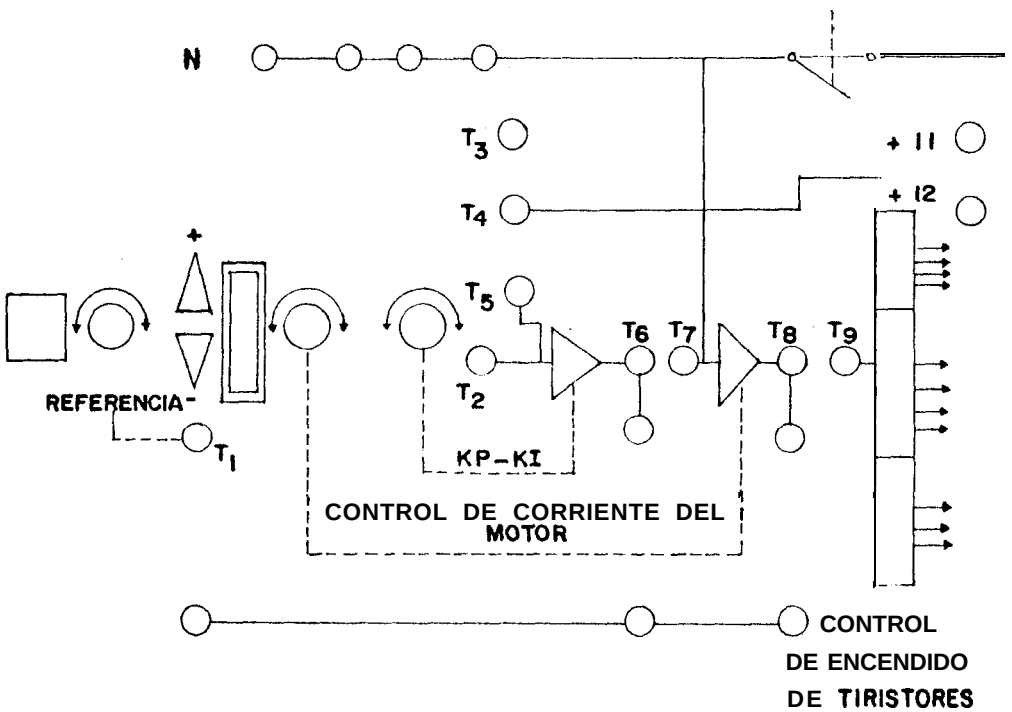


Figura # 5.3.- Simbología externa de los circuitos de realimentacih.

-Para el lazo simple de corriente de armadura se debe conectar el terminal Tl al terminal T7 y el terminal T8 al terminal T9.

-Para el lazo doble de velocidad y corriente de armadura se debe conectar el teminal Tl a T2, el T4 al T5, el T6 al, T7 y T8 al T9.

-Para el lazo doble de voltaje y corriente de armadura se debe debe conectar el terminal Tl a T2, el T3 al T5, el T6 al T7 y T8 al T9.

El tipo de controlador usado es el Proporcional Integral y tiene 2 características de control: un error de estado estacionario igual a cero dado por la Parte Integral de control y el tiempo de respuesta rápido determinado por la parte proporcional de control.

A continuación se ilustra un modelo de controlador PI.

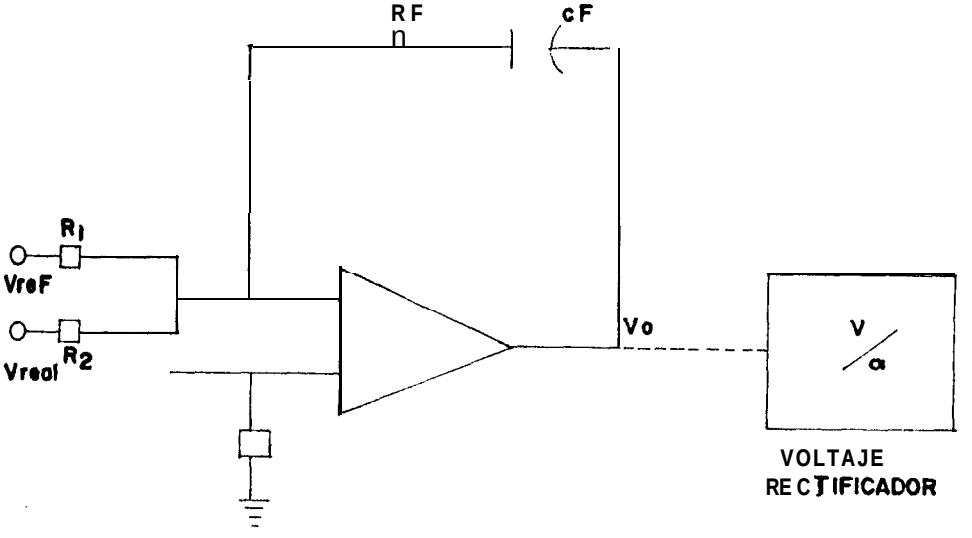


Figura # 5.4.- Modelo de un Controlador PI.

Se realiza la suma de la señal referencia más la señal realimentada proveniente del trasductor. Si la señal de

realimentación es mayor se producirá por la suma un error positivo que conectado en el FIN inversor producirá un cambio negativo en la salida. es decir disminuirá y al estar esta salida conectada a la entrada del circuito disparador aumentará el ángulo, disminuirá el voltaje rectificado ejerciendo asi su acción de control. a su vez al disminuir el voltaje rectificado disminuirá el valor de la señal de voltaje realimentada, llegando así a dar un error negativo lo que tratará de aumentar el voltaje rectificado y se mantendrá una acción contínua de control.

. LAZO DE REALIMENTACION DE CORRIENTE.

Esta realimentación se realiza por medio de una resistencia de 0,18 ohmios, 15 vatios conectada en serie con la armadura de motor este será entonces un transductor de corriente. El circuito de realimentación de corriente se ilustra en la Figura 5.5, consiste básicamente de un acoplador de impedancias, un controlador propocional integral. La señal procedente de la realimentación de corriente entra a sumarse en el Pin 2 inversor con la señal procedente de un voltaje de referencia. Si no se realimenta ninguna corriente de armadura y no existe ningun voltaje conectado a T7 el voltaje de salida del operacional sera el voltaje de menos saturación el cual debido al zener se fija un voltaje de -10 voltios, el cual es

el voltaje que corresponde al disparo en 180 grados. Este tipo de controlador que se usó nos proporciona un error en estado estable igual a cero. La referencia negativa de 0 a -13.6 produce una variación de voltaje a la salida del controlador que va de -10 a 0 voltios.

Este voltaje a la salida del controlador al ingresarlo al circuito disparador nos proporciona un disparo de 180 a 7 grados respectivamente. Como una medida de protección para el caso de que se este manejando un motor se debe garantizar que el voltaje de control no llegue nunca a ser positivo, pues se perdería el control sobre la carga. Por esta razón al observar el controlador proporcional integral vemos que su salida podría llegar a tener en un momento el voltaje de + saturación y el zener de 10 voltios conduciría como diodo y fijaría el voltaje a + 0.7 voltios que es un voltaje mayor que cero , por esta razon se incluyó un circuito restador para sustraer este voltaje mínimo y obtener entonces siempre un voltaje negativo con lo cual se protege de que no se pierda control sobre la carga. Este circuito restador esta hecho con un OP-AMP y se ilustra a continuación del controlador proporcional integral.

Se consigue la limitación-de la corriente de armadura puesto que el voltaje máximo de referencia del controlador proporcional integral usado es el voltaje de saturación del OP-AMP que sirve como controlador de velocidad cuando se usa

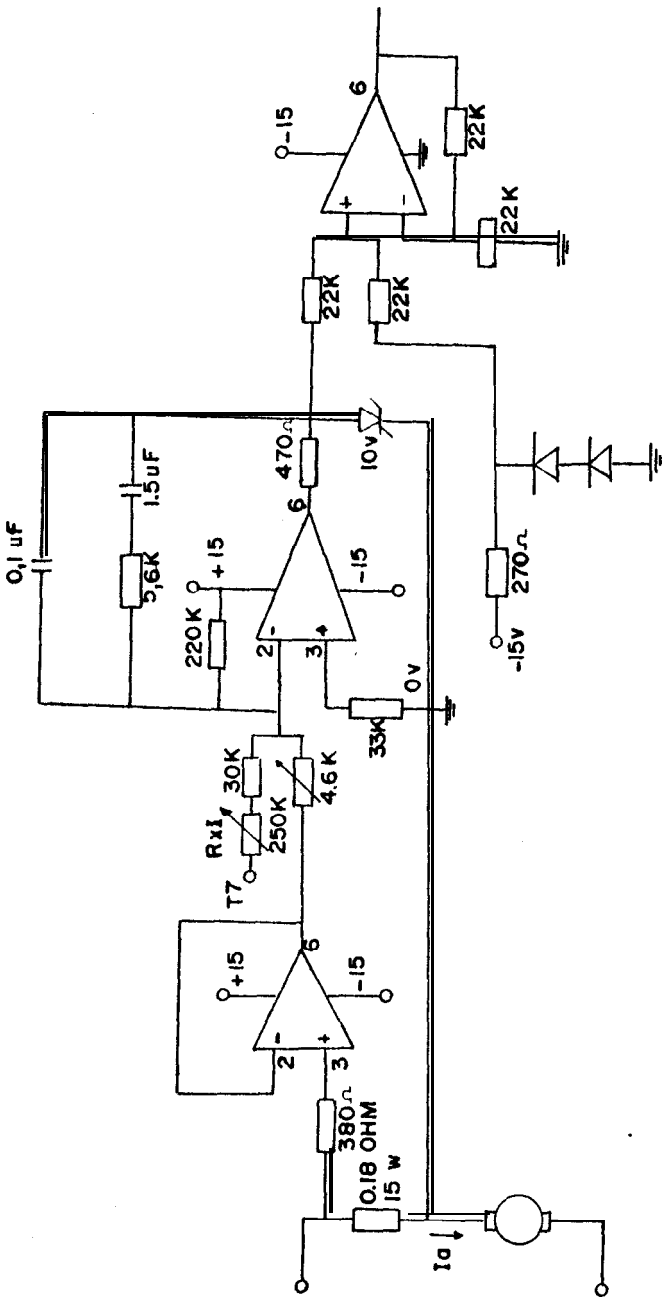


Figura # 5.5.- Circuito de Realimentación de Corriente.

el doble lazo cerrado:esta característica ofrece un excelente funcionamiento especialmente durante el arranque del motor a voltaje nominal. Se permite además ajustar el límite máximo de corriente variando el valor de la resistencia RXI en la cual es aplicada el voltaje de referencia de corriente, se escogió un potenciómetro de valor tal que permita una variación de 1 a 10 amperios de corriente en el motor.

LAZO DE REALIMENTACION DE VELOCIDAD.

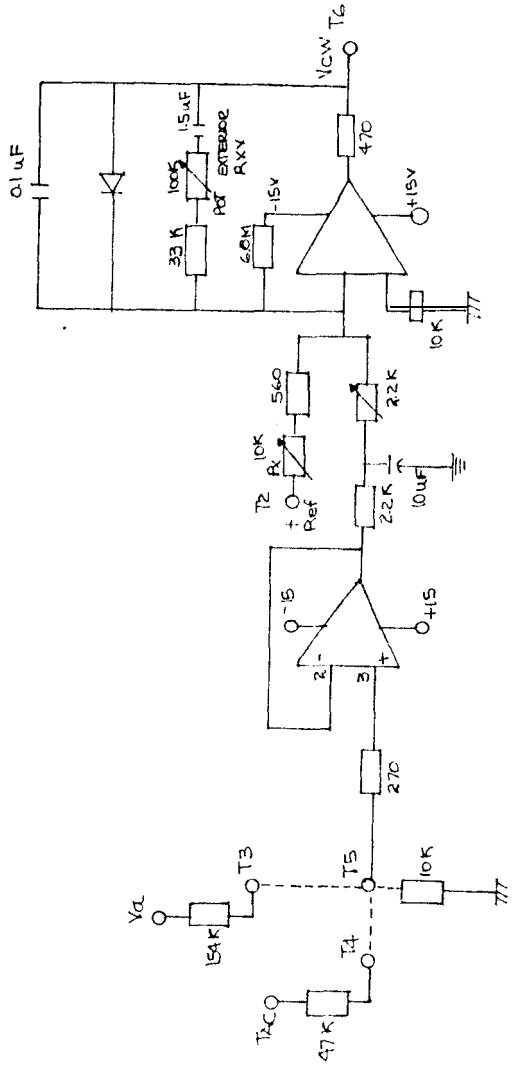
Este consta principalmente de un transductor de velocidad, acoplador de impedancias. y un controlador proporcional e integral .

El lazo de velocidad permite mantener el valor de velocidad constante independiente de la carga y sera un valor fijado por una referencia escogida por el usuario. El transductor usado es un tacogenador acoplado al motor. el convierte la señal de velocidad en una señal de voltaje. El tacómetro genera 24 voltios por cada 1000 rpm; se empleó un divisor de voltaje y luego se la pasó por- un acoplador de impedancias , fue necesario además incluir filtro RC para eliminar ruidos provenientes del tacómetro que afectaban al circuito de disparo. El acoplador de impedancias usado es un OP-AMP no inversor' con ganancia unitaria.

Para este lazo, se escogió como control de velocidad un controlador proporcional integral , el cual nos proporciona una respuesta rápida y un error de estado estable igual a cero, la acción de control d.el controlador PI se notará al variar el voltaje de referencia o al estar en una velocidad de referencia y experimentar una variación de la carga del generador acoplado al motor; variará su salida hasta que el error presente en su entrada desaparezca. Se permite al usuario, mediante un potenciómetro desde el panel variar la ganancia del controlador de velocidad. variando el valor de la resistencia RXV, con lo que variamos la respuesta del sistema, es decir el tiempo en el cual el motor alcanzará la velocidad de referencia. La salida del tacómetro se la conecta al terminal 1'2 pasa por el divisor de voltaje y queda presente en el terminal T4 y se debe colocar en el terminal T5. El voltaje de referencia. el cual es un voltaje positivo debera ser colocado en el terminal T2, y se lo debe tomar del terminal Tl , invirtiendo previamente la polaridad de switch de referencia "positiva", finalmente la salida del controlador proporcional-integral que esta presente en el terminal T6, se la debe plugar al terminal T7 que es el terminal que da la referencia de corriente? luego se une T8 con T9 completando así el doble lazo.

5.3. LAZO DE REALIMENTACION DE VOLTAJE.

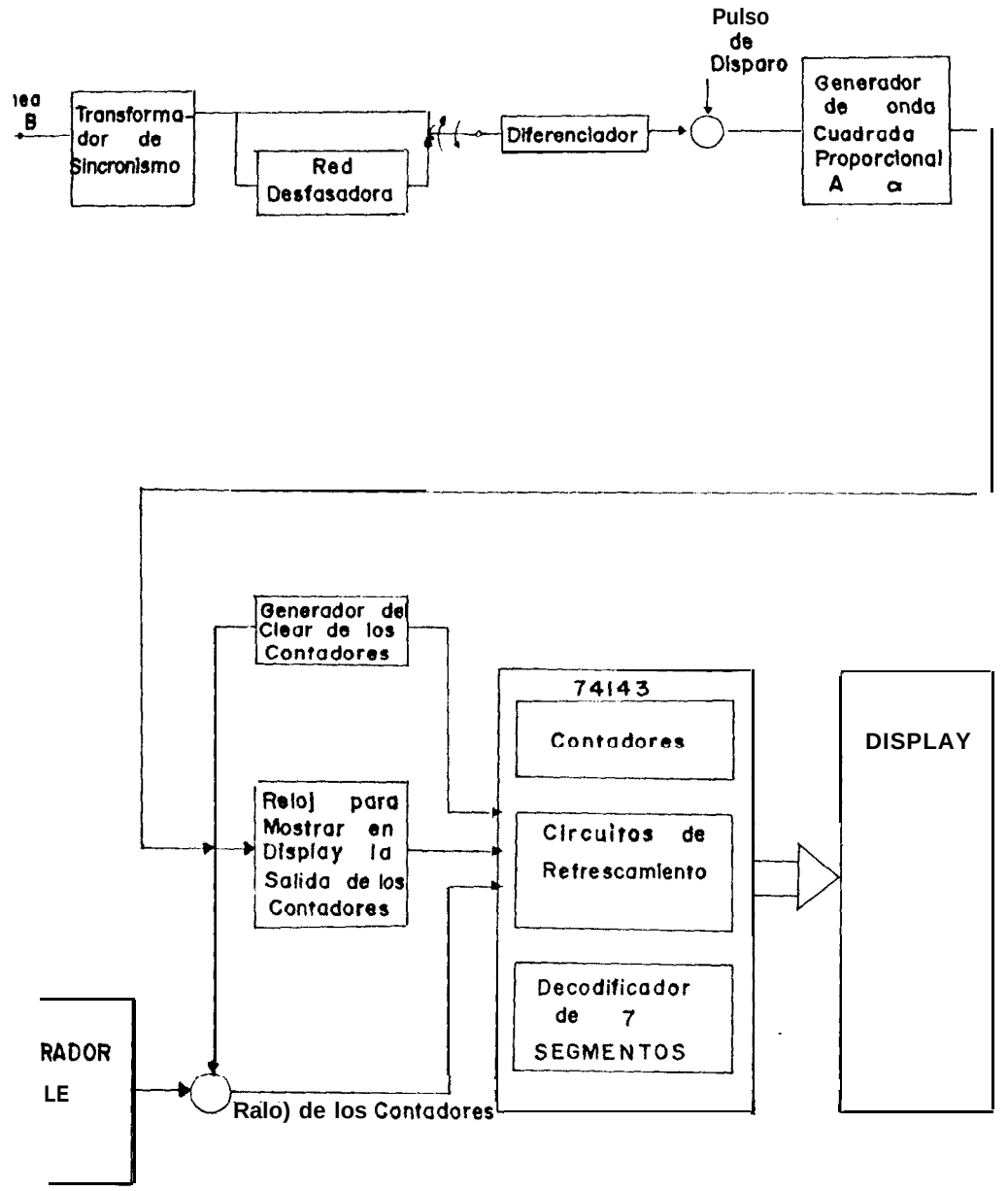
Se permite la realimentación de voltaje para realizar el control del voltaje de armadura del motor, se observa su comportamiento con diferentes cargas, para esta realimentación se usa el camino de realimentación de velocidad, con un divisor de voltaje adecuado que se presenta en el terminal T3, el cual se coloca en el terminal T5, para el caso de doble lazo cerrado, con realimentación de voltaje de armadura.



ura # 5.6.- Circuito de Realimentación de Velocidad o Voltaje de Armadura.

CAPITULO VI

MEDICION DIGITAL DEL ANGULO DE DISPARO



6.1 Diagrama de Bloques del Circuito.

6.2. REQUERIMIENTOS

Para las prácticas que se realizan en laboratorio se requiere hacer la medición del ángulo de disparo de los tiristores, acto que se realiza con el osciloscopio. Se encomendó realizar un medidor del ángulo de disparo que se incluya en el equipo el cual debía de ser digital y con la precisión de un decimal. Se realizó entonces el mencionado medidor el cual muestra su lectura en cuatro displays, este equipo hace una lectura real del ángulo es decir se considera desde el inicio de la onda senoidal, o sea desde cero grados hasta la generación del pulso.

La información de ceros grados la obtenemos mediante un transformador cuyo primario está conectado a las fases A,B teniendo entonces una entrada de 220 voltios y estando así en fase con las conecciones del primario de los transformadores de poder.

Este transformador me dara entonces la información del cruce por cero. Su secundario proporciona una señal de 6 voltios rms ,la cual pasará por un switch, que está como un interruptor externo, y que permitirá pasar la señal directamente en el caso de configuración monofásica, a través de una red desfasadora para el caso de una configuración trifásica, esta red desfasará la señal de 30

grados y se la ajusta en forma experimental con el potenciómetro 500K.

La señal de salida de este interruptor pasará por un comparador el cual es el OP-AMP 741, IC-6A e ingresará por el pin inversor, entonces en el. cruce por cero viniendo de menos más le corresponderá la salida un cambio de + saturación a - saturación, lo contrario ocurrirá para el cambio en 180 grados y asi sucesivamente. La salida del comparador pasará por una red diferenciadora.

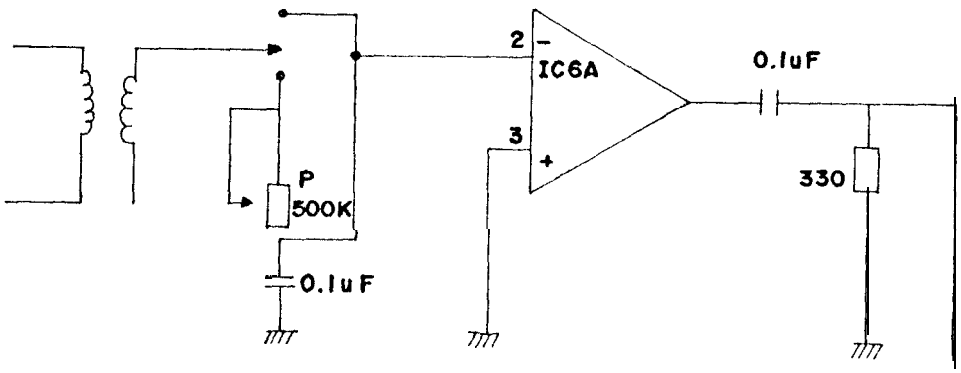


Figura # 6.2.- Red desfasadora y diferenciadora

El OP-AMP IC-6B, que también trabaja como comparador recibe la suma de la información obtenida en la red diferenciadora y la del pulso de disparo de la fase A en su entrada inversora. mientras que en la no inversora esta presente una realimentación positiva de su voltaje de salida a través de las resistencias 5.6K y 220 Ohmios.

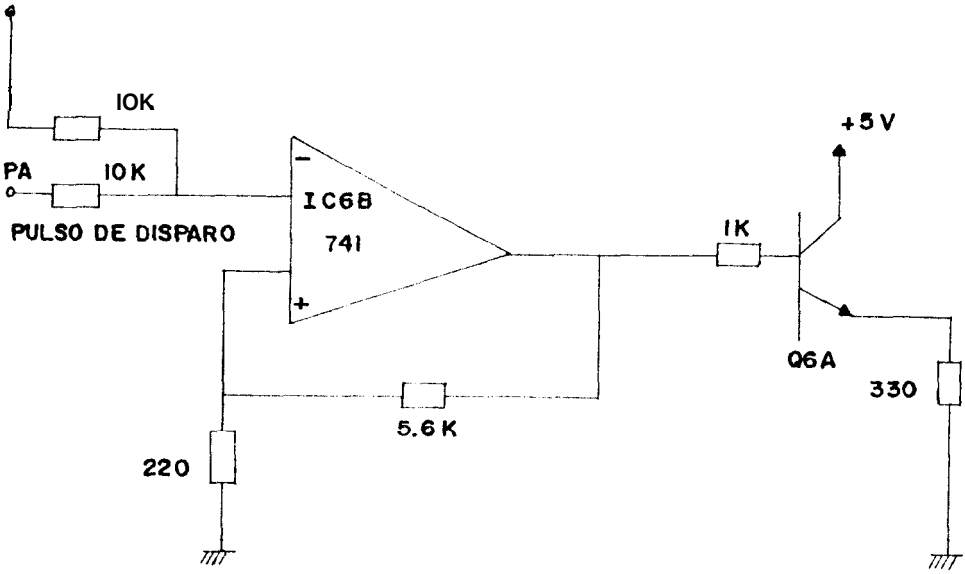


Figura # 6.3.- Generación de señal cuadrada proporcional a alfa

Cuando la Onda alterna cruza por cero viniendo de menos a más. llega al PIN 2 un impulso negativo de mayor magnitud que el

que existe en la entrada no inversora (PIN 3). así el voltaje diferencial será positivo y la salida del OP-AMP irá a + saturación.

Cuando llega el pulso de disparo a la entrada inversora el cual es positivo y de mayor magnitud que la referencia actual en el PIN 3 el OP-AMP se irá a - saturación y permanecerá así hasta el siguiente cruce por cero de menos a más, ya que en en el cruce de más a menos se tendrá un voltaje diferencial negativo cual implica que permanece en saturación negativa el OP-AMP.

Al desplazar el ángulo alfa de disparo se está produciendo una señal cuadrada de mayor o menor duración la cual comienza en el cruce por cero y termina en el momento del disparo.

Para trabajar con una señal cuadrada entre 5 voltios y cero se pasa la señal anterior a través de un transistor Q6A que trabaja en corte y saturación. Su salida modulará una señal de reloj de alta frecuencia que me dará la cuenta de los grados hasta el ángulo alfa, esto se logra multiplicando mediante una puerta AND IC-6C con la salida de un generador astable , hecho con un 555 IC-6D, cuya frecuencia se calculó dividiendo los 16,66 ms, que es el inverso de la frecuencia de 60 hertz entre 360 grados y entre diez para obtener un decimal lo cual da 216 khz; a la salida de esta puerta AND se podrá

entonces alimentar el reloj de un grupo de contadores que contará desde cero grados hasta el momento que se genera el pulso, lo hará con un decimal de precisión.

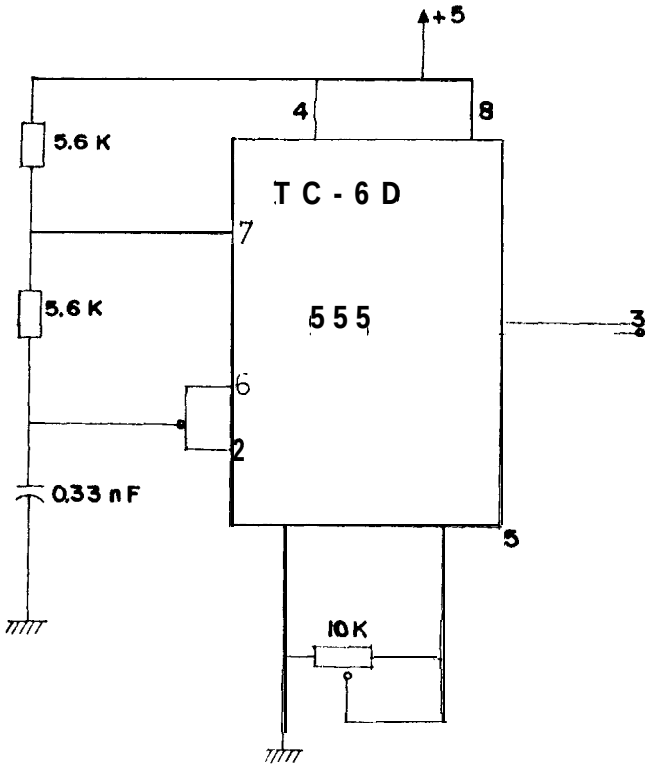


Figura # 6.4.- Generador Astable.

Se debió considerar ademas algunos detalles que se implementaron:

- La salida de los contadores debe ser muestreada cada cierto tiempo y solo así mostrarse en los Displays, de otra forma no se apreciaría, sino como una cuenta continua.

- Para cada nuevo período de cuenta los contadores deben estar encerados.

- Que los contadores deben conectarse en cascada, para mostrar así desde el dígito menos significativo hasta el más significativo.

Se usó el circuito integrado 74143, pues éste posee a su vez un contador, un circuito de latch, y además el decoder que manejará al display de 7 segmentos catodo común.

La salida del transistor Q6A la cual es una señal cuadrada que empieza en ceros grados y termina en el ángulo alfa, se la pasa por un circuito diferenciador luego a su vez por un diodo D6A y esto a la base de un transistor Q6B , el cual trabaja en corte y en saturación; tendremos así una señal que me encerará los clear de los contadores (PIN 3).

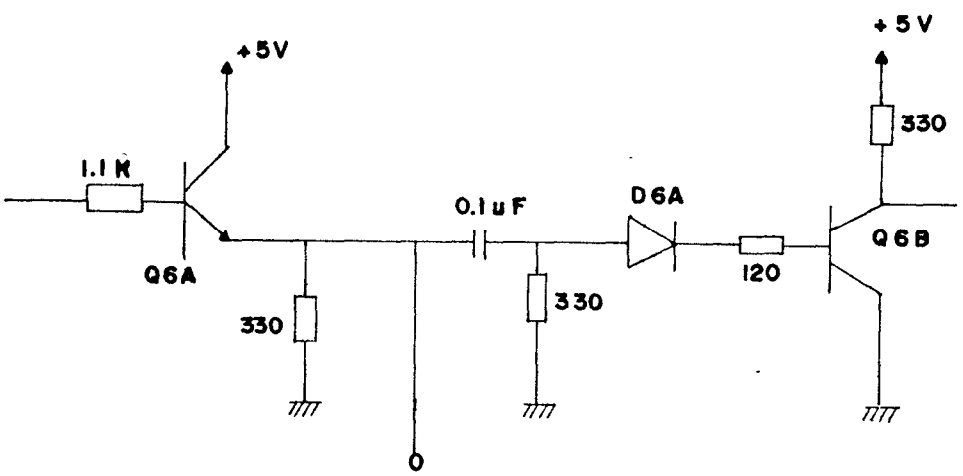


Figura # 6.5.- Generación del Clear de los Contadores.

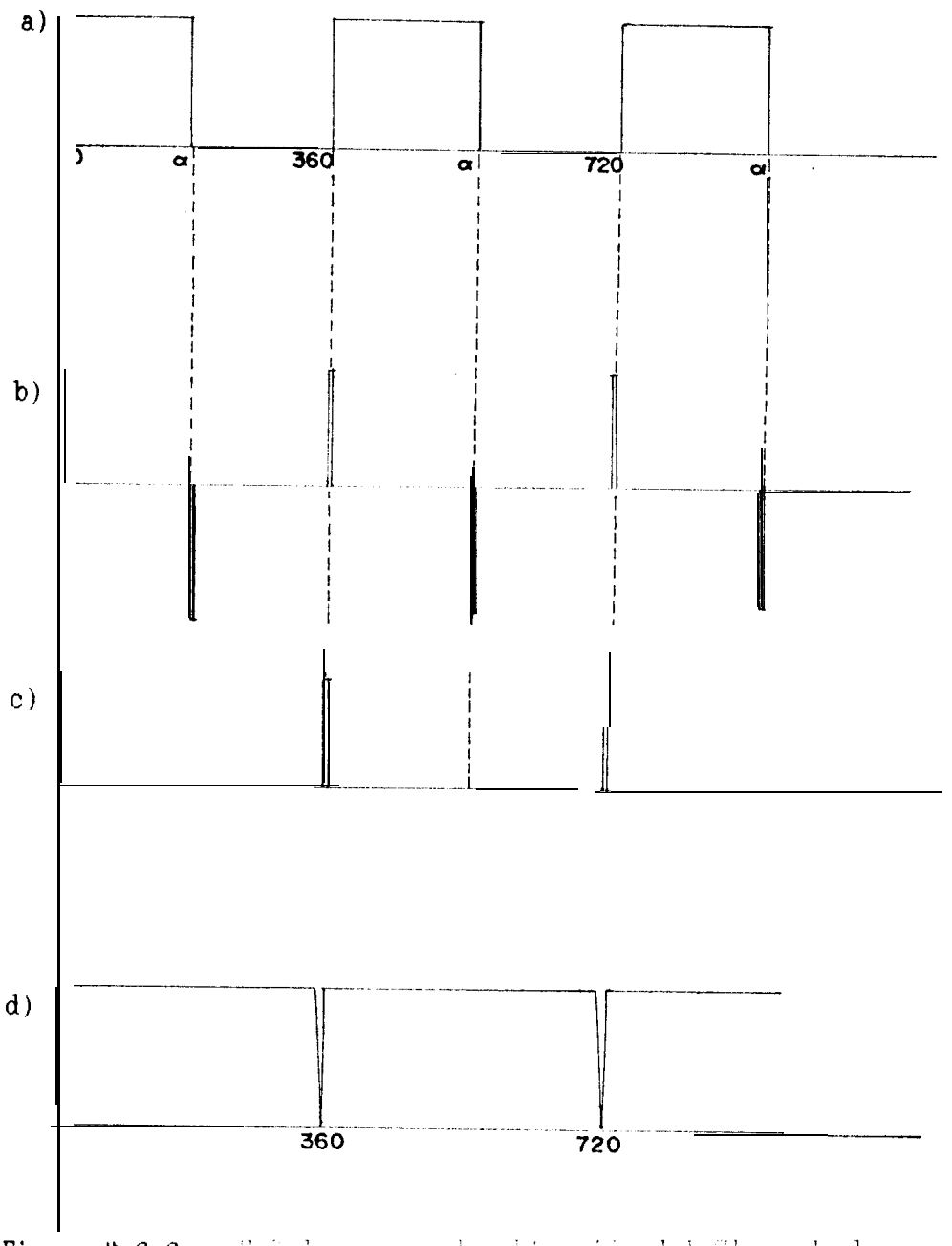


Figura # 6.6.- Señales para la obtención del Clear de los Contadores.

a) Señal cuadrada del transistor Q6A.

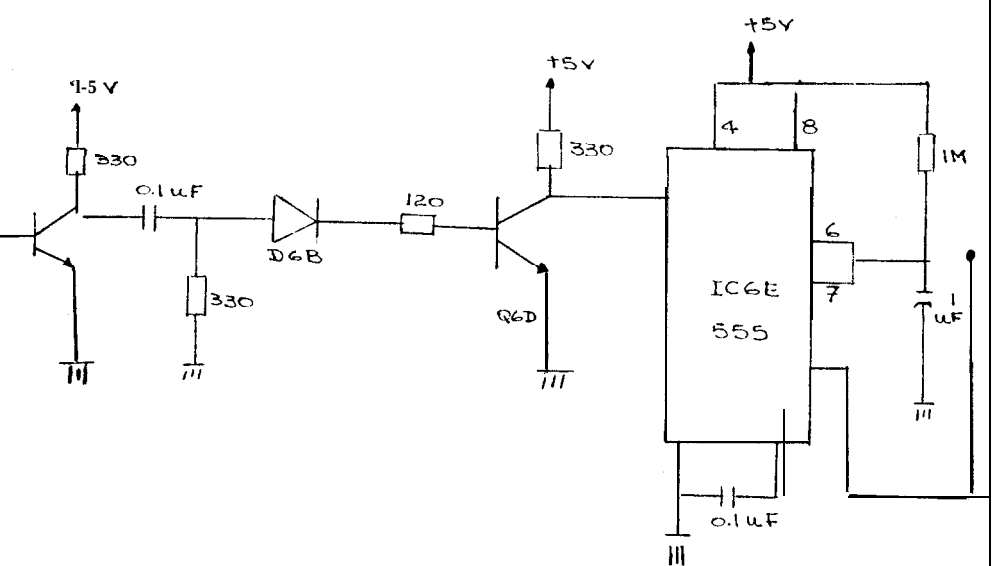
b) Salida del diferenciador.

c) Salida del Diodo D6A.

d) Salida del transistor Q6B.

Para alimentar el reloj de circuito latch se usa la salida del transistor Q6A después de haberla pasado por algunas etapas las cuales se detallan a continuación y cuya formas de onda se puede visualizar en la figura 6.8 .

Esta señal cuadrada entra a la base de un transistor Q6C el cual trabaja en corte y saturación, luego por un circuito diferenciador y después por un diodo D6B; hasta aquí tenemos una señal la cual es un impulso positivo cada alfa grados y el resto del tiempo es cero, esta señal la invertimos colocando la en la base de un transistor Q6D y de esta manera en vez de impulsos positivos tendremos flancos descendentes que me disparán un circuito monoestable; se trata de un 555 IC-6E y el tiempo de duración del pulso de salida es 1.1 RC en donde se escogió los valores de R y C de tal manera que el producto sea un segundo, así es que la duración del pulso será de 1.1 segundo y esta señal será la que alimente el reloj de los circuitos enlatchadores o circuitos de refrescamiento, en otras palabras me dara la frecuencia de muestreo en los display.



igura # 6.7.- Obtención del Reloj del latch del 74143

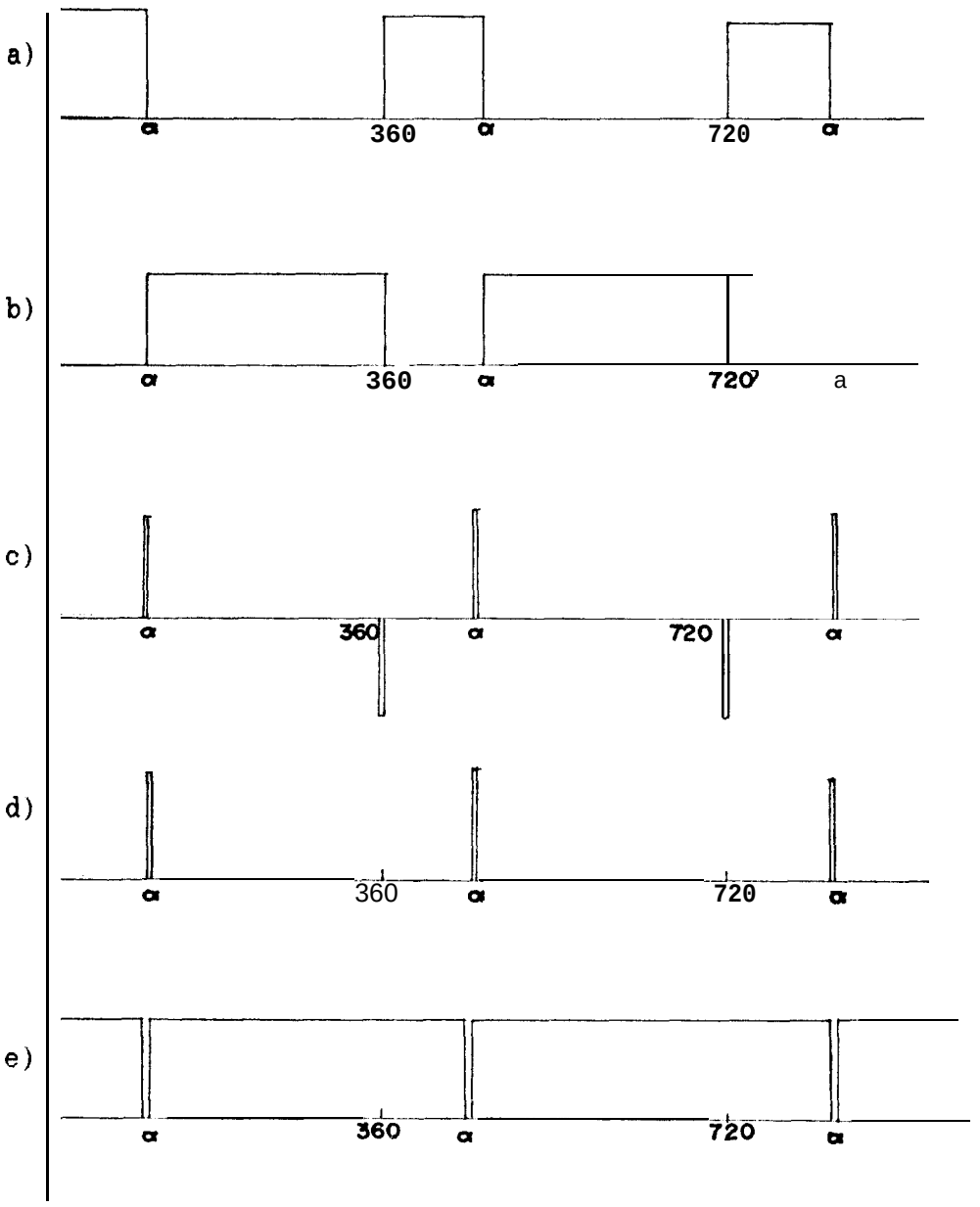


Figura # 6.8.- Señales para la obtención del reloj del latch.

a) Salida del transistor Q6A.

b) Salida del transistor Q6C.

c) Salida del circuito diferenciador.

d) Salida del Diodo D6B.

e) Salida del transistor Q6D.

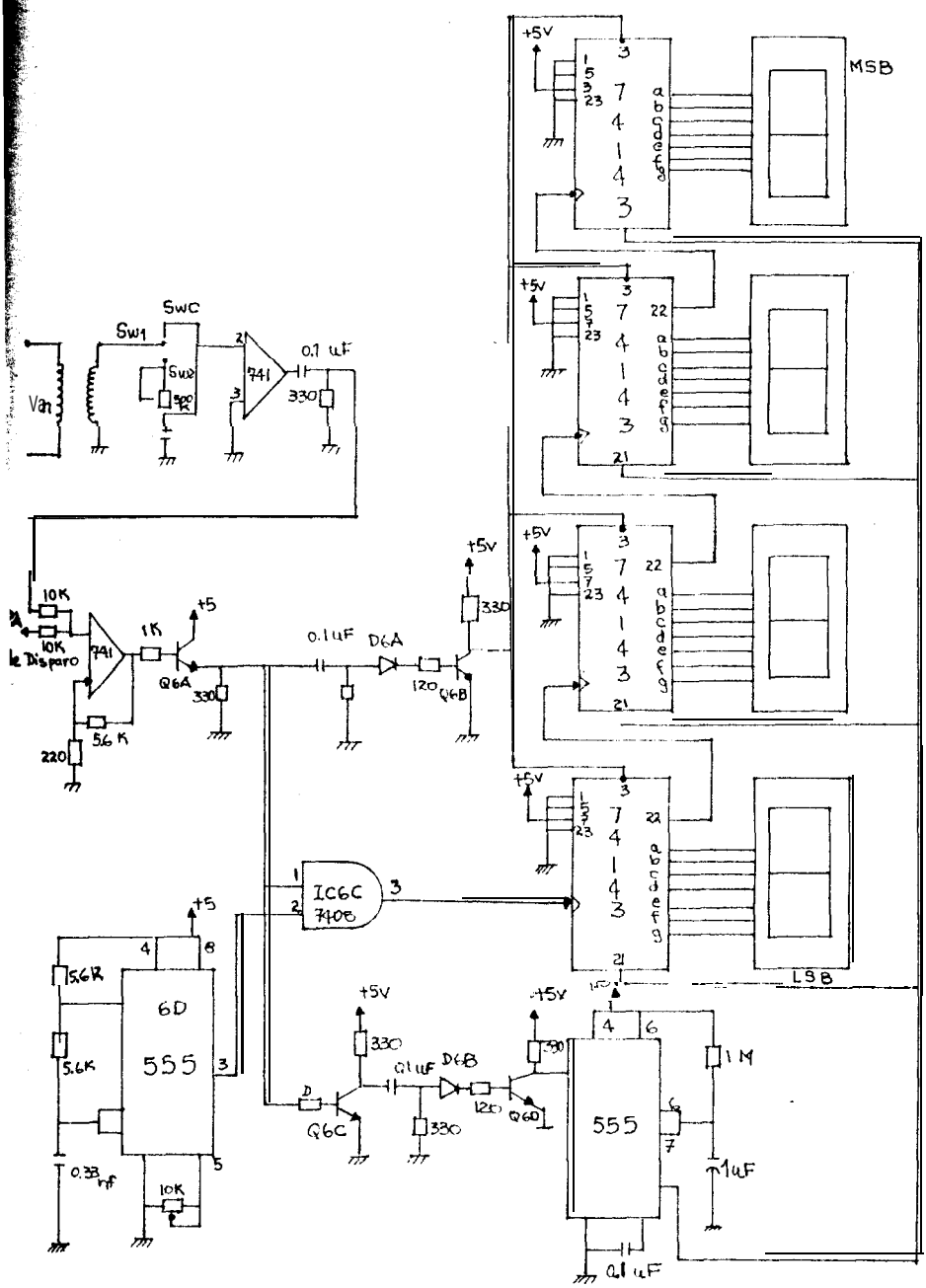


Figura # 6.9.- Circuito del Medidor de Angulo de Disparo.

CAPITULO VII

PRUEBAS DE LAS ETAPAS

En los capítulos anteriores se vio paso a paso el funcionamiento del circuito de control del ángulo de disparo del equipo y otros circuitos adyacentes así como : las fuentes de alimentacion DC ; el medidor de ángulo de disparo de los tiristores, los circuitos de realimentación , etc.

En este capítulo se trata de mostrar por medio de fotos algunas de las señales que sirvieron en los anteriores para hacer las explicaciones del caso .
En cada una de las fotos se va a proporcionar las escalas tanto horizontal (tiempo). como vertical (magnitud) de las señales que aparecen y el punto dentro del circuito en donde fueron obtenidas.

Se trata siempre de ir relacionando en la misma foto las señales para su fácil comprensión , es decir estarán en orden tal como se van generando.

CIRCUITO DE DISPARO.

Empezaremos por considerar los circuitos de disparo en la

figura 3.12 se muestra uno de los 6 circuitos de disparo utilizados ; en la figura 7.1 se muestra las formas de onda obtenidas en un circuito de disparo se observa la acción del diodo zener recortando completamente la semionda negativa y la positiva en aproximadamente 11 voltios . La salida del generador de onda cuadrada tiene una amplitud aproximada de 5.4 voltios que ésta fijo durante la semionda negativa de entrada . La pendiente positiva de la rampa corresponde al semiciclo positivo de entrada.

En la figura 7.2 se muestran las formas de ondas obtenidas en el comparador y, generador de pulsos, para el ángulo de disparo de SO grados. El pulso se produce cuando se satura el transistor T3 y las salidas del generador de onda cuadrada y del generador de rampa no se ven afectadas.

En la figura 7.3 se muestran las formas de ondas obtenidas en los puntos A y B del circuito de la figura 3.12 junto con el pulso de disparo y la onda cuadrada. para poder realizar una comparación de fase con la figura '7.2. En el punto A, el voltaje se mantiene en 24 voltios hasta que el transistor T3 se satura; en este momento se produce un pico inverso de voltaje en A. En el punto B. sucede algo similar partiendo desde aproximadamente 0 voltios.Esto indica que el capacitor C2 mantiene su carga en 24 voltios produciendose un pico negativo de voltaje en el punto B, de tal forma que el

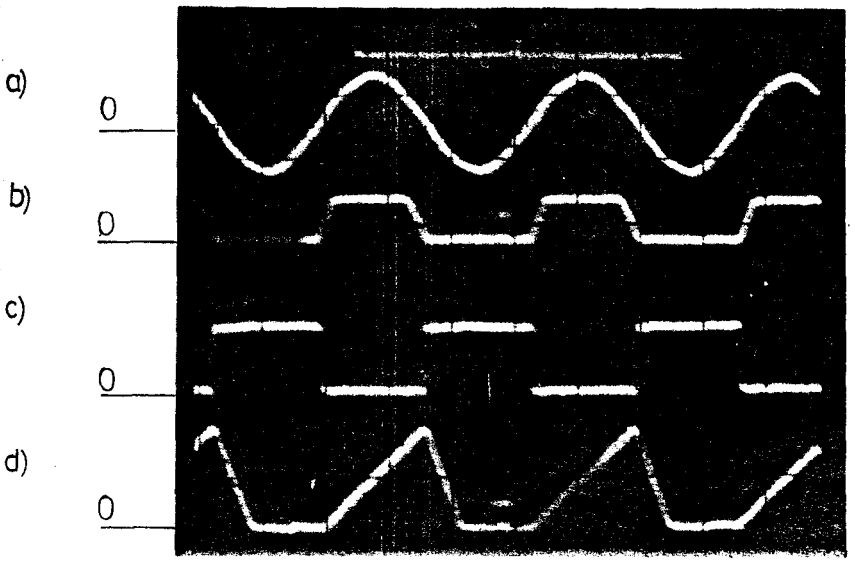


Figura # 7.1.- Resultados del circuito de disparo.

a) Voltaje de entrada

b) Voltaje en el Zener

c) Salida del generador de onda cuadrada

d) Salida del generador de rampa

Escala horizontal: 5 ms/div

Escala vertical : a) 50 V/div

h) 10 V/div

c) 5 V/div

d) 10 V/div

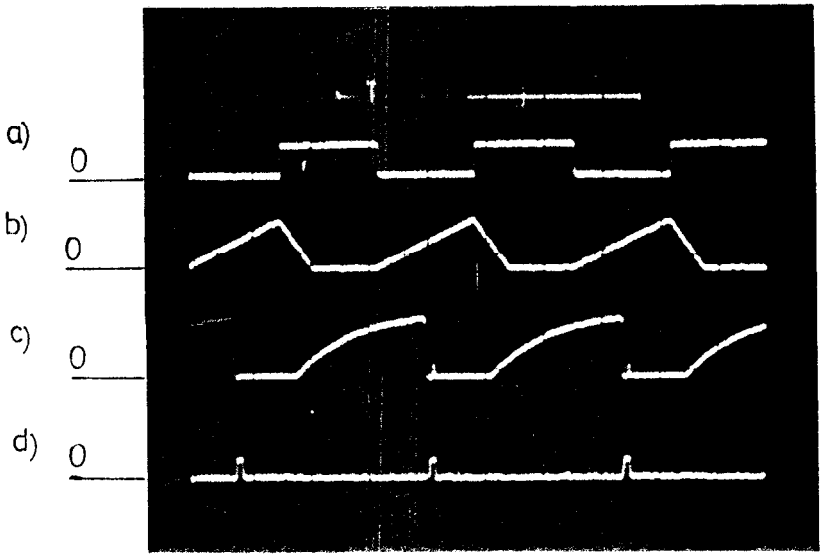


Figura # 7.2.- Resultados del circuito de disparo.

α= 90 grados

a) Salida del generador de onda cuadrada

b) Salida del generador de rampa

c) Voltaje en el colector de T3

d) Salida del generador de pulsos

Escala. horizontal: 5 ms/div

Escala vertical : a) 10 V/div

b) 10 V/div

c) 20 Vídiv

d) 20 V/div

transistor T4 para de estado de saturación a estado de apagado durante este pico de voltaje inverso, así el pulso de voltaje producido en el colector de T4 corresponde a la salida del generador de pulsos.

El ángulo de disparo puede ser controlado entre 0 y 180 grados mediante un voltaje Vci de control entre 0 y -10 v respectivamente. Los límites del ángulo de disparo se muestran en las figuras 7.4 y 7.5 para a = 13 grados y a = 178 respectivamente.

En las siguientes 2 figuras ilustraremos seíiales obtenidas también en el circuito modulador. también llamado interfase-analógica digital-analógica.

En las figuras 7.6 se muestra el pulso generado proveniente del circuito de disparo y el pulso correspondiente que estará presente en el terminal P, que como vemos es el inverso, pues se lo obtiene a la salida de un circuito inversor. y estará dispuesto en el tablero de conecciones en las "P" estos se conectan por el usuario externamente a las horneras"G". este pulso invertido disparará un monoestable cuya salida también se la muestra. esta salida se la multiplicará con una ráfagas de pulsos procedente de un circuito generador astable es la cuarta señal mostrada en la figura 7.6.

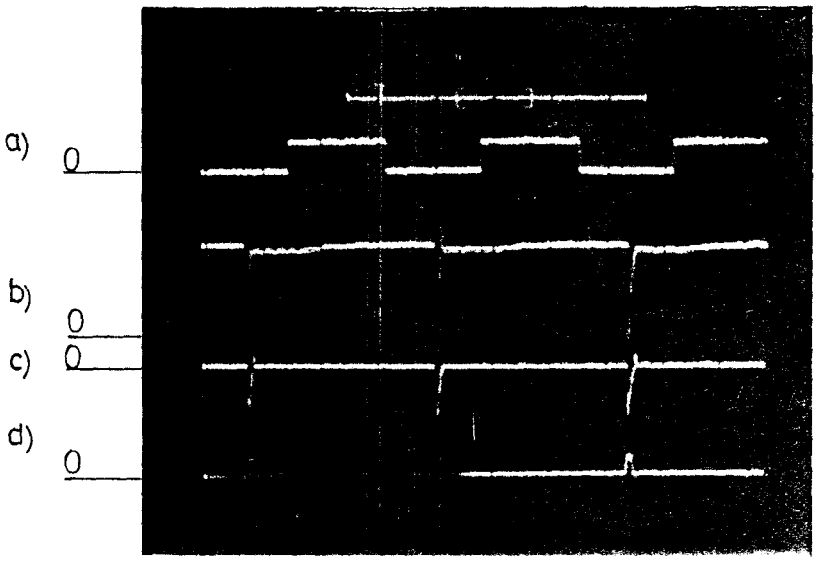


Figura # 7.3.- Resultados del circuito de disparo.

α= YO grados

a) Salida del generador de onda cuadrada

b) Voltaje en el punto A

c) Voltaje en el punto B

d) Salida del generador de pulsos

Escala horizontal : 5 ms/div

Escala vertical : a) 10 V/div

b) 20 V/div

c) 20 V/div

d) 20 V/div

Figura # 7.4.- Resultados del circuito de disparo

α= 13 grados

a) Salida del generador de onda cuadrada

b) Salida del generador de rampa

c) Voltaje en el colector de T3

d) Salida del generador de pulsos

Escala horizontal: 5 ms/div

Escala vertical : a) 10 V/div

b) 10 V/div

c) 10 V/div

d) 20 V/div

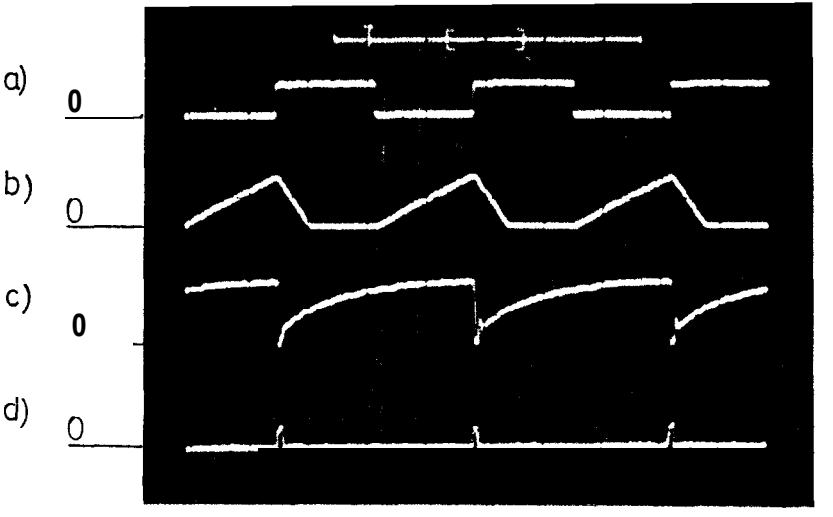


Figura # 7.5.- Resultados del circuito de disparo

α= 178 grados

a) Salida del generador de onda cuadrada

b) Salida del generador de rampa

c) Voltaje en el colector de T3

d) Salida del generador de pulsos

Escala horizontal: 5 ms/div

Escala vertical : a) 10 V/div

b) 10 V/div

c) 20 V/div

d) 20 V/div

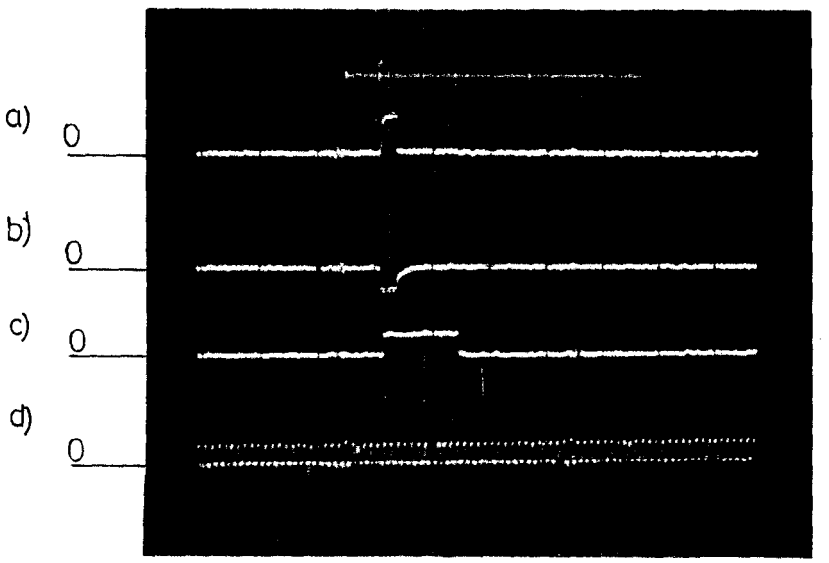


Figura # 7.6.- Resultados del circuito de disparo.

a) Salida del generador de pulsos

b) Salida del inversor en "P"

c) Salida del one shot

d) Salida del generador astable

Escala horizontal: 5 ms/div

Escsla vertical : a) 10 V/div

b) 10 V/div

c) 10 V/div

d) 10 V/div

2. PRUEBAS DEL EQUIPO COMPLETO.

Se realizaron las siguientes prácticas para probar el funcionamiento correcto del equipo.

1.- Rectificador monofásico de media onda.
2.- Rectificador monofásico de onda completa, tipo puente.
3.- Rectificador monofásico de onda completa con toma central
4.- Rectificador trifásico de media onda.
5.- Rectificador trifásico de onda completa.
7.- Control del lazo abierto de velocidad de un motor DC.
8.- Control de lazo cerrado de corriente de un motor DC.
9.- Control de doble lazo cerrado de velocidad de un motor DC
10.- Control de doble lazo cerrado de voltaje de armadura de un motor DC.

1. RECTIFICADORES.

En estas prácticas se han realizado para configuraciones no controladas, semi y totalmente controladas; con cargas R, R-L y con diodo de paso libre. De algunas de estas experiencias de tomaron fotos de las formas de ondas de los voltajes y corrientes en la carga. Debemos recordar aquí que nuestro transductor de corriente es una resistencia de 0.18 ohmios que experimentalmente daba un valor de 0.2 V/A.

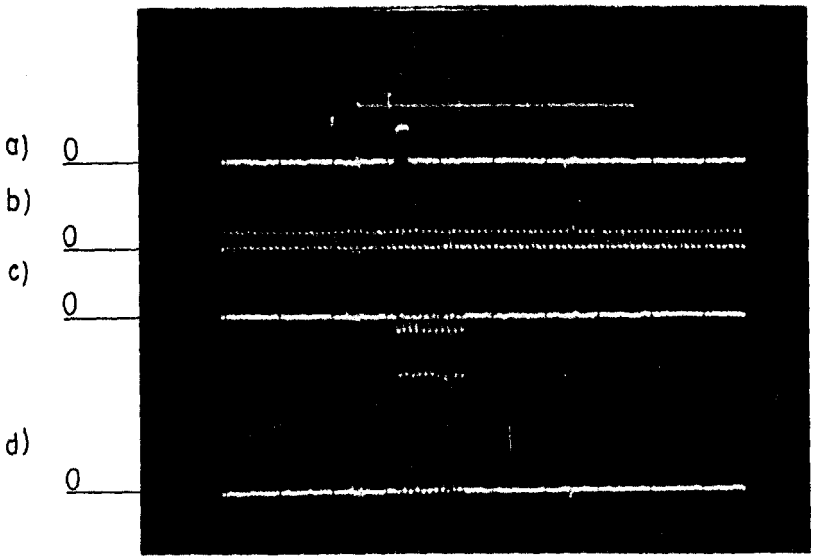


Figura # 7.7.- Resultados del circuito de disparo.

a) Salida del generador de pulsos

b) Salida del generador astable

c) Señal de multiplicación en la base de T7

d) Salida del colector T7 (Ráfagas de pulsos)

Escala horizontal: 5 ms/div

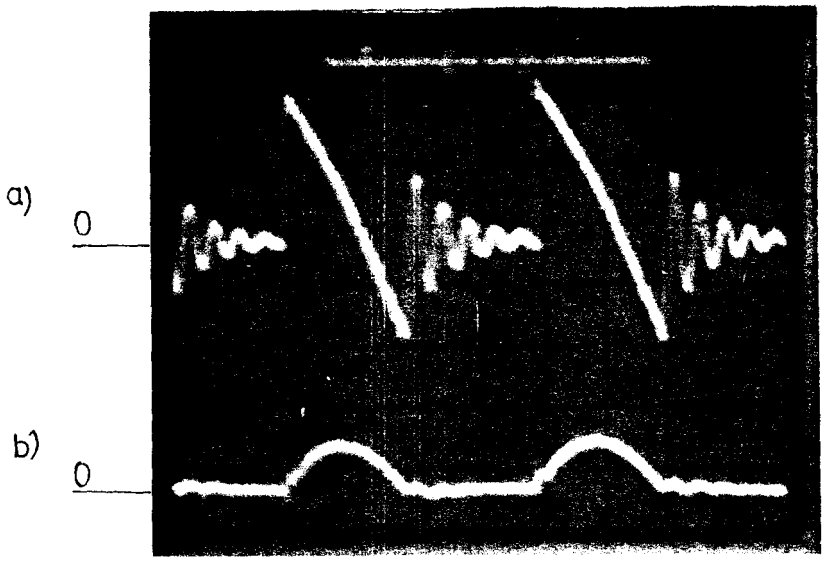
Escala vertical : a) 10 V/div

b) 10 V/div

c) 10 V/div

d) 10 V/div

1.1. RECTIFICADOR MONOFASICO DE MEDIA ONDA.



'igura # 7.8.- Resultados del Convertidor para la conexión monofásica de media onda.

a) Voltaje en la carga

b) Corriente en la carga

Escala horizontal: 2 ms/div

Escala vertical : a) 50 V/div

b) 50 mV/div

.1.2. RECTIFICADOR MONOFASICO DE ONDA COMPLETA? TIPO FUENTE.

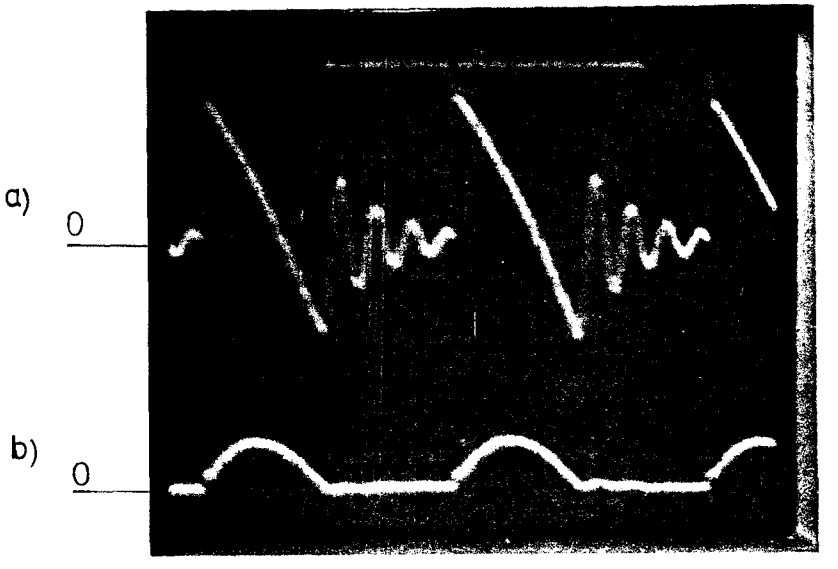


Figura # 7.9.- Resultados del Convertidor para la conexión monofásica completamente controlada tipo puente. carga R-L

a) Voltaje en la carga

b) Corriente en la carga

Escala horizontal: 2 ms/div

Escala vertical : a) 50 V/div

b) 50 mV/div

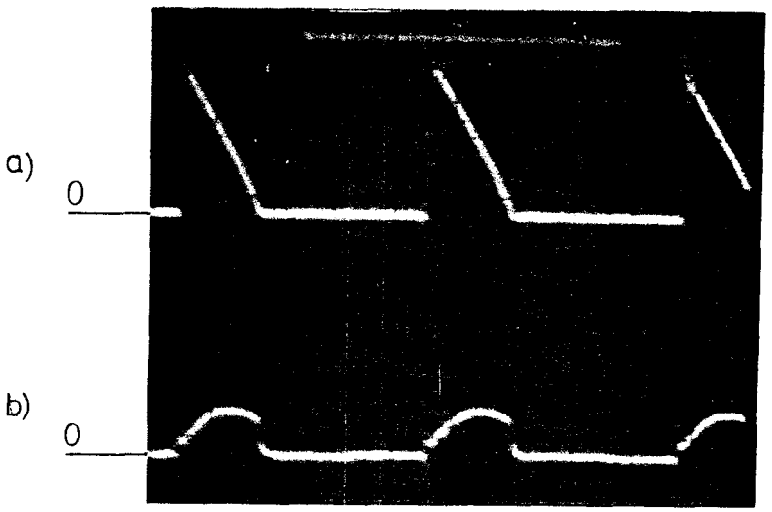


Figura # 7.10.- Resultados del Convertidor para la conexión monofásica completamente controlada, Carga R-L Con diodo de paso libre.

a) Voltaje en la carga

b) Corriente en la carga

Escala horizontal: 2 ms/div

Escala vertical : a) 50 V/div

b) 50 mV/div

7.1.3. RECTIFICADOR TRIFASICO DE MEDIA ONDA.

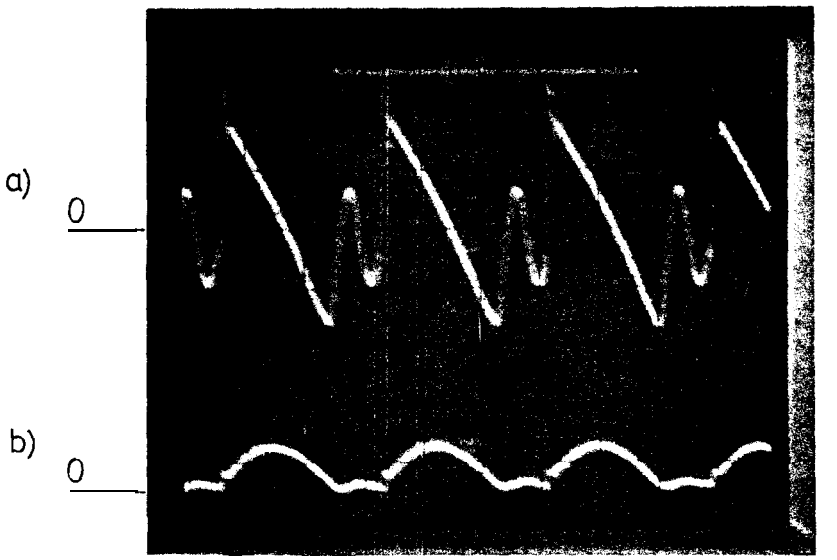


Figura # 7.11.- Resultados del Convertidor para la conexión trifásica de media onda. carga R-L.

a) Voltaje en la carga

b) Corriente en la carga

Escala horizontal: 2 ms/div

Escala vertical : a) 50 V/div

b) 50 mV/div

2.1.4. RECTIFICADOR TRIFASICO DE ONDA COMPLETA.

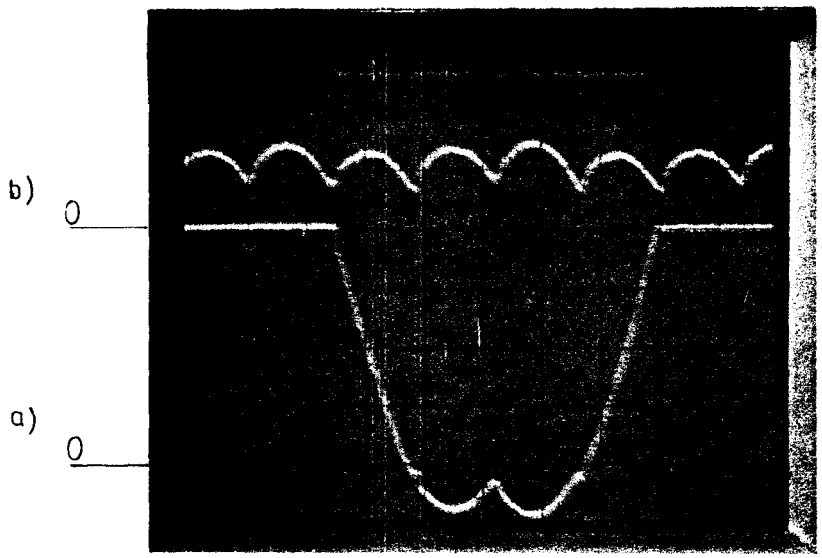


Figura # 7.12.- Resultados del Convertidor para la conexión trifásica completamente controlada = 0 grados.

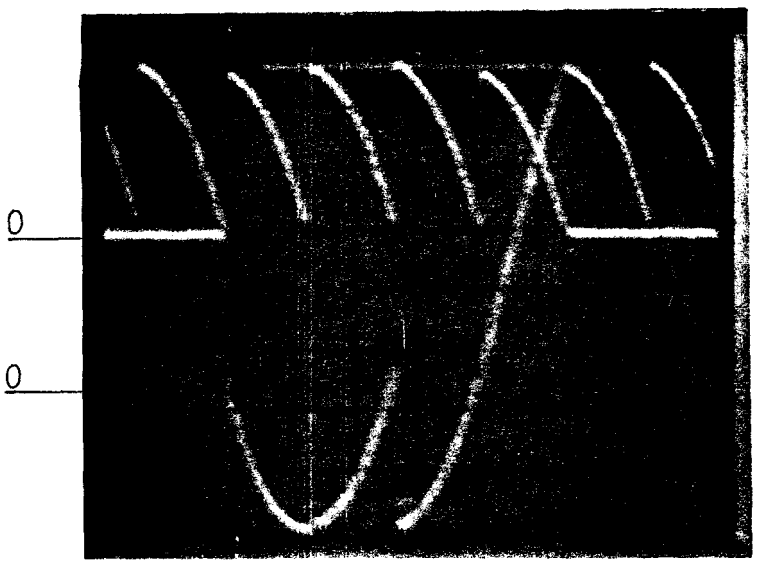
a) Voltaje en la carga

b) Caída de tensión en el tiristor 1

Escala horizontal: 5 ms/div

Escala Vertical : a) 50 V/div

b) 50 V/div



ura # 7.13.- Resultados del Convertidor para la conexión trifásica completamente controlada= 60 grados.

a) Voltaje en la carga

b) Caída de tensión en el tiristor 1

Escala horizontal: 5 md/ div

Escala vertical : a) 50 V/div

b) 50 V/ div

CONTROL DE UN MOTOR DC.

Las prácticas que se realizaron para el control de motor DC en el laboratorio son las siguientes:

- Control de lazo abierto de velocidad.

- Control de lazo cerrado de corriente

- Control de doble lazo cerrado de velocidad

- Control de doble lazo cerrado de voltaje

- CONTROL DE LAZO ABIERTO DE VELOCIDAD

Al hacer trabajar el motor sin ninguna realimentación. el control del ángulo de disparo de los tiristores se lo realiza por medio de un voltaje de referencia que puede ser variado , entre 0 y -10 voltios, en vez del VO 1 taje de salida del controlador de corriente . Se debe tener la precaución de arrancar al motor con el ángulo de disparo máximo, porque de n o hacerlo así la corriente de arranque del motor hará que baje el interruptor de protección. Una vez que que se fija el ángulo de disparo a un valor determinado. la velocidad y corriente de armadura del motor dependerán de la carga acoplada.

La Figura 7.15 muestra la característica de velocidad versus corriente de armadura para el caso de conducción discontinua se puede apreciar que la velocidad disminuye rápidamente, al aumentar la corriente de armadura.

Para obtener una conducción continua del motor se conectó una inductancia de 312 mH en serie con la armadura . En la figura 7.16 muestra la característica de velocidad versus corriente de armadura, comparando que la variación de la velocidad es menor comparada con el caso de conducción discontinua. Ambos gráficos han sido obtenidos con los datos mostrados en la figura 7.14.

2.2.- CONTROL DE LAZO CERRADO DE CORRIENTE.

Para obtener la señal de corriente ,se utilizó una resistencia de 0.18 ohmios ,15 vatios, conectada en serie con la armadura del motor , siendo este el transductor de corriente.

En el capítulo 5. figura 5.5 se ilustró el circuito de realimentación de corriente ; la referencia negativa de 0 a -13.5 voltios produce una variación de voltaje a la salida del controlador que va de -10 a 0 voltios, de tal manera que el motor arranca con el ángulo de disparo máximo y un voltaje de alimentación pequeño. Antes de

LAZO ABIERTO: CONDUCCION DISCONTINUA

Ia (A)	w(rpm)
0.5	2.500
0.8	2.100
1.0	1.900
1.5	1.520
2.0	1.250
2.5	1.050

LAZO ABIERTO: CONDUCCION CONTINUA

Ia (A)	w(rpm)
0.5	2.500
1.0	2.480
2.0	2.400
3.0	2.350
4.0	2.300
5.0	2.250
6.0	2.200
7.0	2.150

7.14.- Tabla de Datos: Lazo Abierto

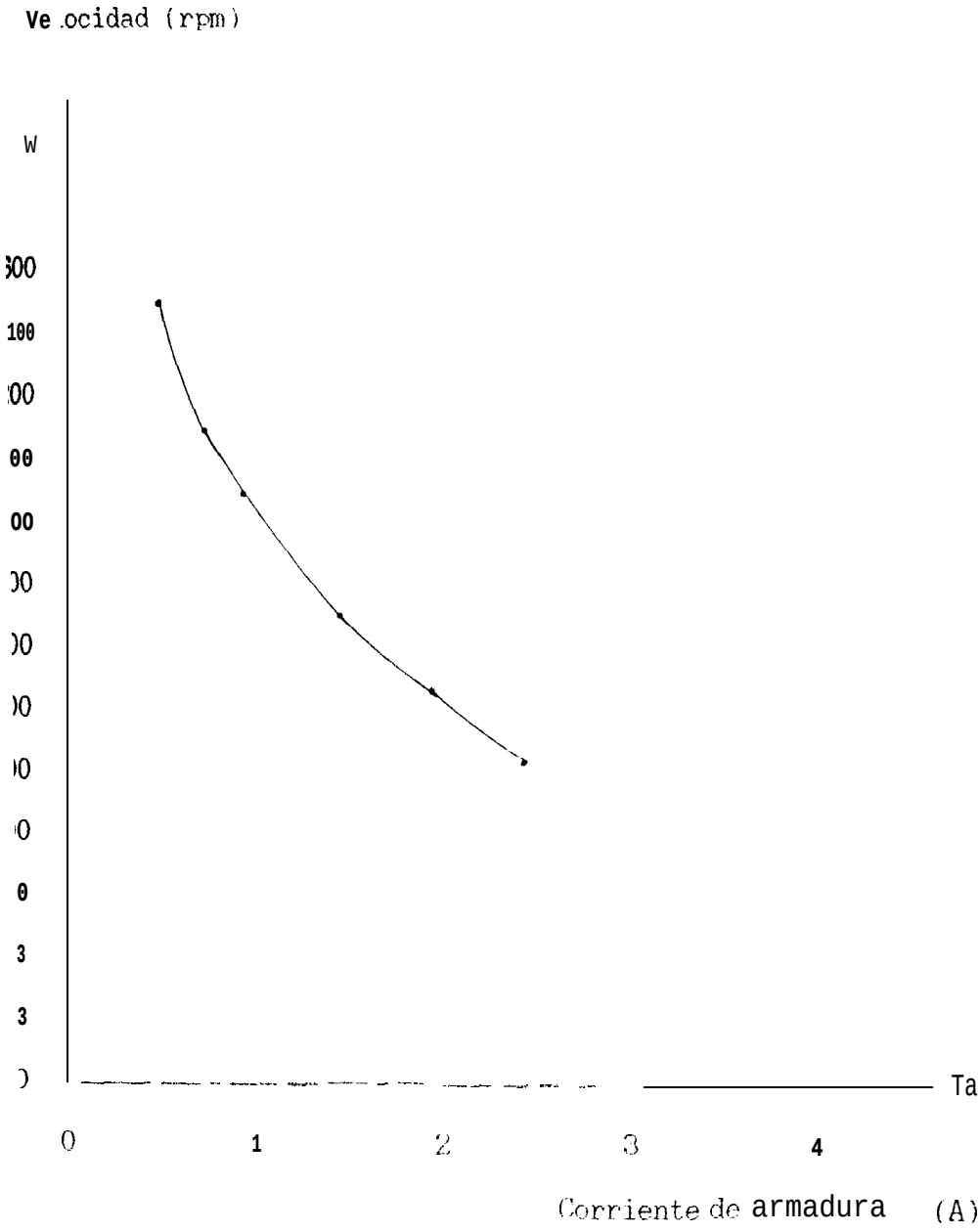


Figura # 7.15.- Gráfico de velocidad (w) versus corriente de armadura (Ia). Lazo abierto. conducción discontinua.

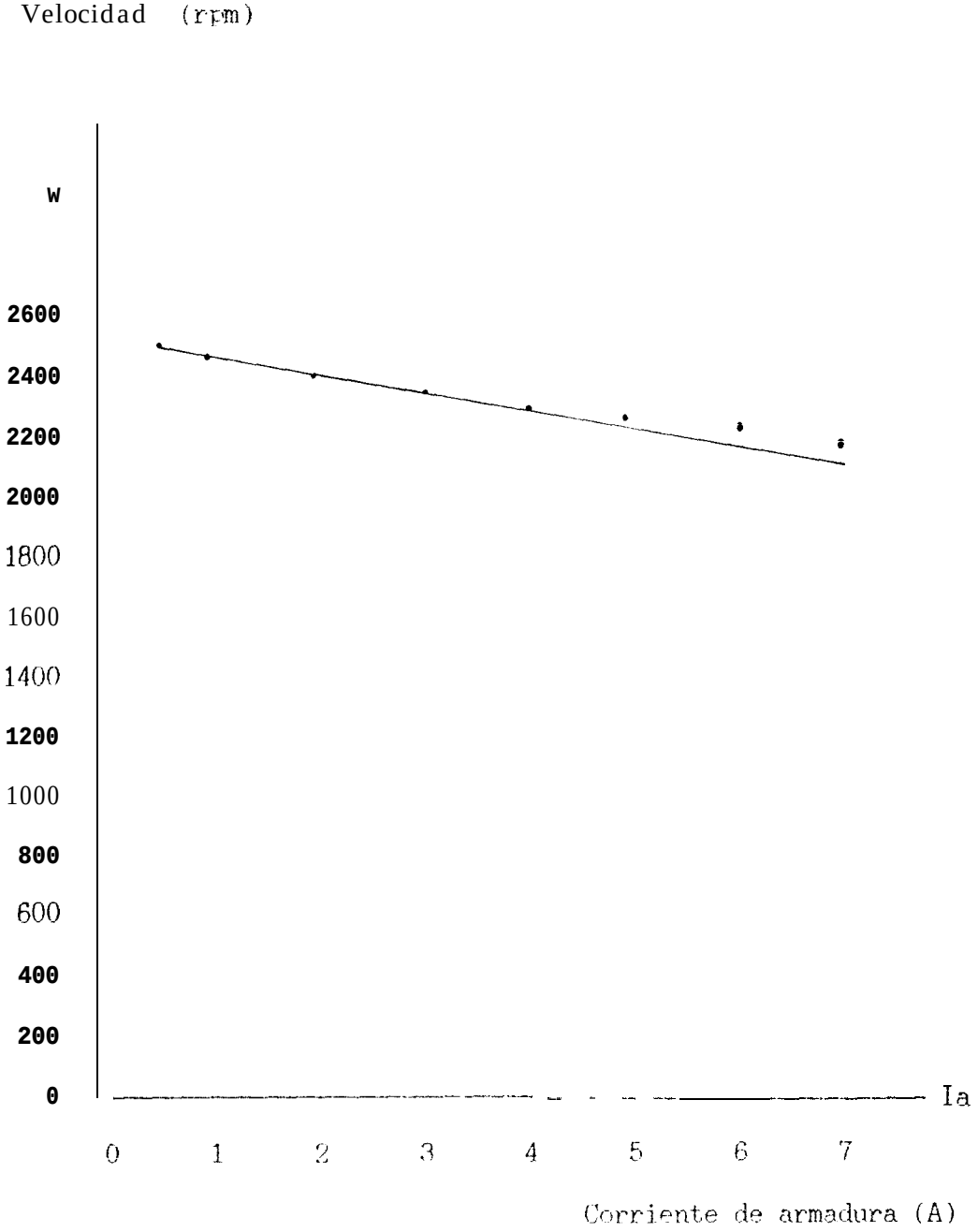


Figura # 7.16.- Gráfico de velocidad (w) versus corriente de armadura (Ia). Lazo abierto, conducción continua.

cerrar el interruptor para conectar la armadura del motor se deben tener las siguientes precauciones:

- La corriente de campo del generador debe ajustarse al máximo.
- El generador debe tener conectada su carga.
- La resistencia del **circuito** de carga del generador debe ser mínima.

La característica del lazo se muestra en la figura 7.18 en la que se ha graficado la corriente de armadura versus la velocidad del motor,a partir de los datos mostrados en la figura 7. manteniendo un voltaje de referencia fijo en el controlador y disminuyendo la resistencia de carga del generador. Así, la corriente permanece constante sin importar la variación de carga. Con los datos de la figura 7.17 obtenemos la característica de potencia de entrada del motor versus velocidad, vemos que al mantener constante la corriente que circula por el motor la potencia es función lineal de la velocidad, esta característica se muestra en la figura 7.19.

LAZO DE REALIMENTACION DE CORRIENTE

Ia (A)	w (rpm)	Va (v)	Vala (W)
6.95	2708	179.8	1250
6.95	2360	162.0	1126
6.95	2120	150.0	1042
6.95	2000	144.4	1003
6.95	1800	133.4	927
6.95	1580	123.0	855

Figura # 7.17.- Tabla de Datos: Lazo de Corriente

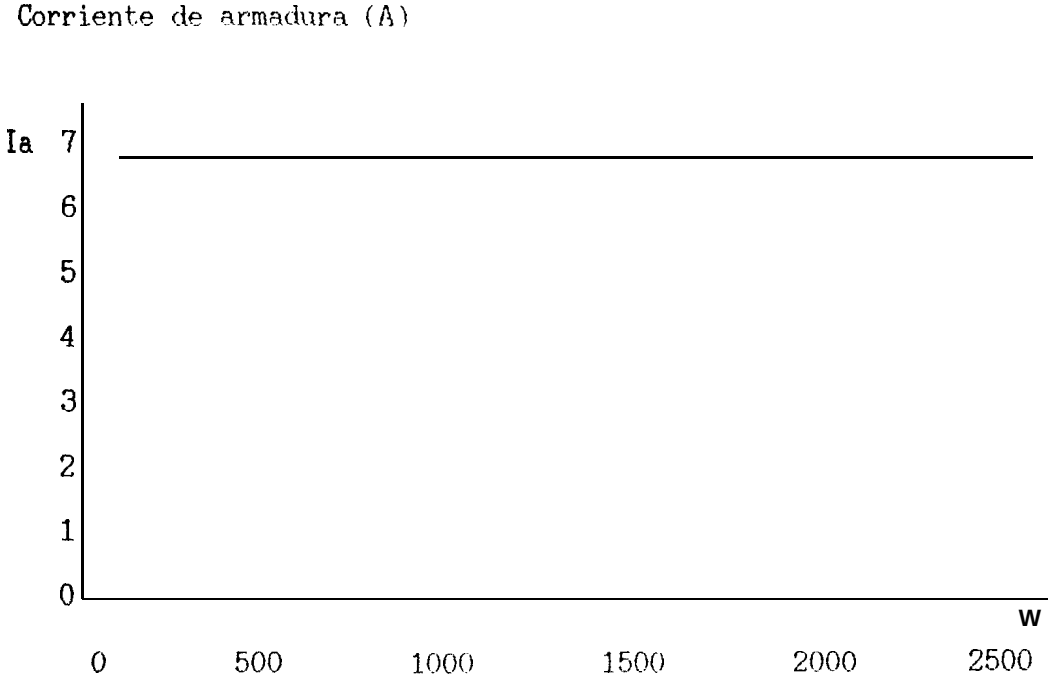


Figura # 7.18 - Corriente de armadura versus velocidad

Lazo de realimentación de corriente.

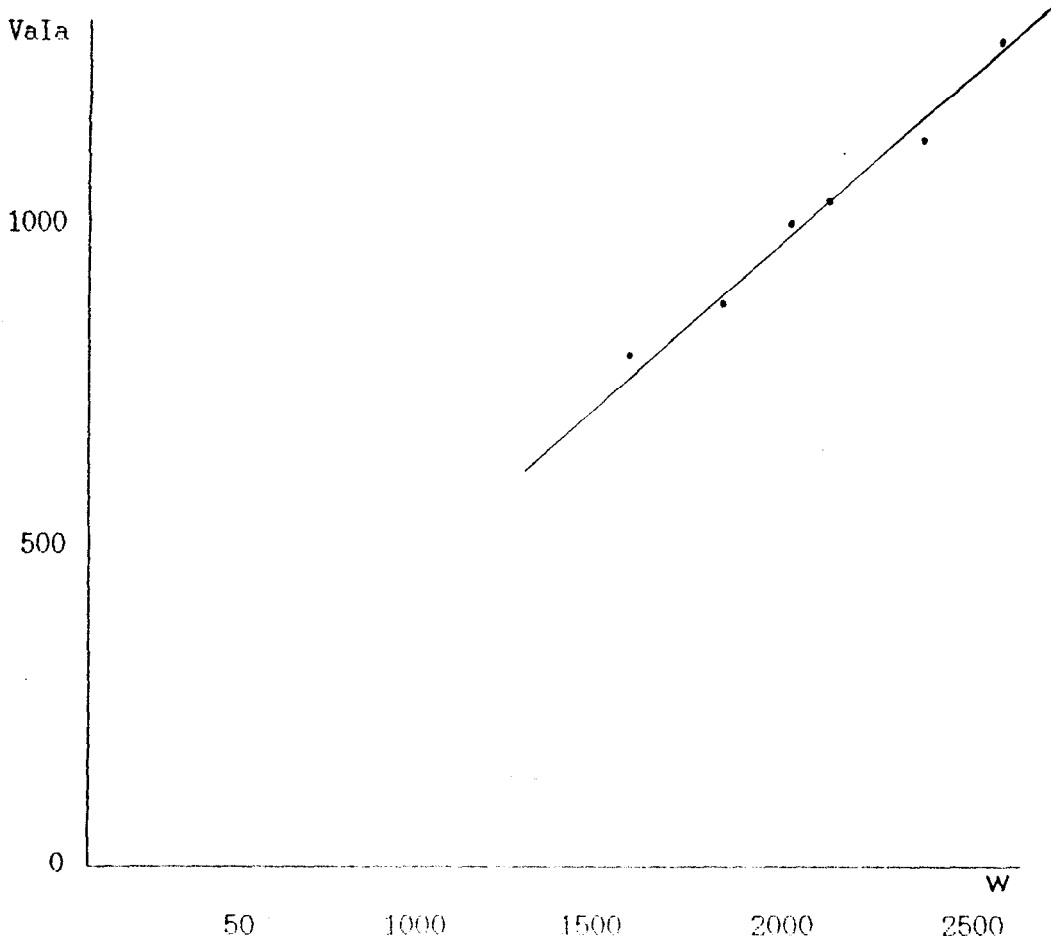


Figura # 7.19 .- Potencia de entrada al motor versus velocidad.
Lazo de realimentación de corriente.

En este lazo se puede variar el valor de la corriente límite a circular por el motor , un potenciómetro externo de 250 K dispuesto en el panel frontal me permite un rango de variación desde 1 amperio en el extremo izquierdo a 13 amperios , para el extremo derecho .

Esta limitación ofrece una excelente protección al motor durante el arranque , en si el lazo me provee una respuesta rápida en caso de variación del voltaje de línea .

, CONTROL DE DOBLE LAZO CERRADO DE VELOCIDAD.

Para obtener la señal de velocidad , se usa un tacogenerador que se encuentra acoplado al motor ; se consigue disminuir la ganancia del transductor utilizando un divisor de voltaje y un acoplador de impedancia . luego se conecta a un filtro RC : en el capítulo 5 , figura 5.6 se ilustró el circuito de realimentación de velocidad .

El tacómetro proporciona un voltaje DC proporcional a la velocidad a la que esta girando el motor. para una velocidad de 2500 rpm , proporciona una salida de 60 voltios DC.

La característica del lazo se muestra en la figura 7.21 en la que se ha graficado la velocidad versus la corriente de armadura para diferentes valores de carga acoplada a partir de los datos mostrados en la figura 7.20 se ajustó la velocidad a 2500 rpm con una corriente de armadura inicial de 0.5 amperios . y se aumentó gradualmente la carga del motor hasta un valor de 7 amperios de corriente,

de aquí se observa que la velocidad es un valor constante sin importar la variación de la carga, y la magnitud de esta velocidad depende del nivel de referencia fijado.

La salida del controlador de velocidad sirve de referencia al controlador de corriente; se ajustó en esa experiencia el valor límite de corriente a 7.5 amperios y al aumentar la carga del motor la velocidad se mantenía en 2500 rpm hasta un valor límite de 7.5 amperios pues aumentando más la carga. la velocidad comenzó a disminuir para de esta manera compensar el aumento del torque de carga .

Para este lazo se observo la experiencia de variar la respuesta del sistema . variando para esto la ganancia del controlador de velocidad , esto lo hacemos mediante un potenciómetro de 100 K dispuesto en el panel frontal. Así por ejemplo se observa que al disminuir la ganancia del controlador de velocidad , la respuesta del sistema se hace más lenta y lo contrario se observa al aumentar la ganancia del controlador ; para cualquiera de las experiencias se mantenía siempre el efecto de la limitación de corriente.

LAZO DE REALIMENTACION DE VELOCIDAD

Ia (A)	w (rpm)
0.5	2500
1.0	2500
2.0	2500
3.0	2500
4.0	2500
5.0	2500
6.0	2500
7.0	2500

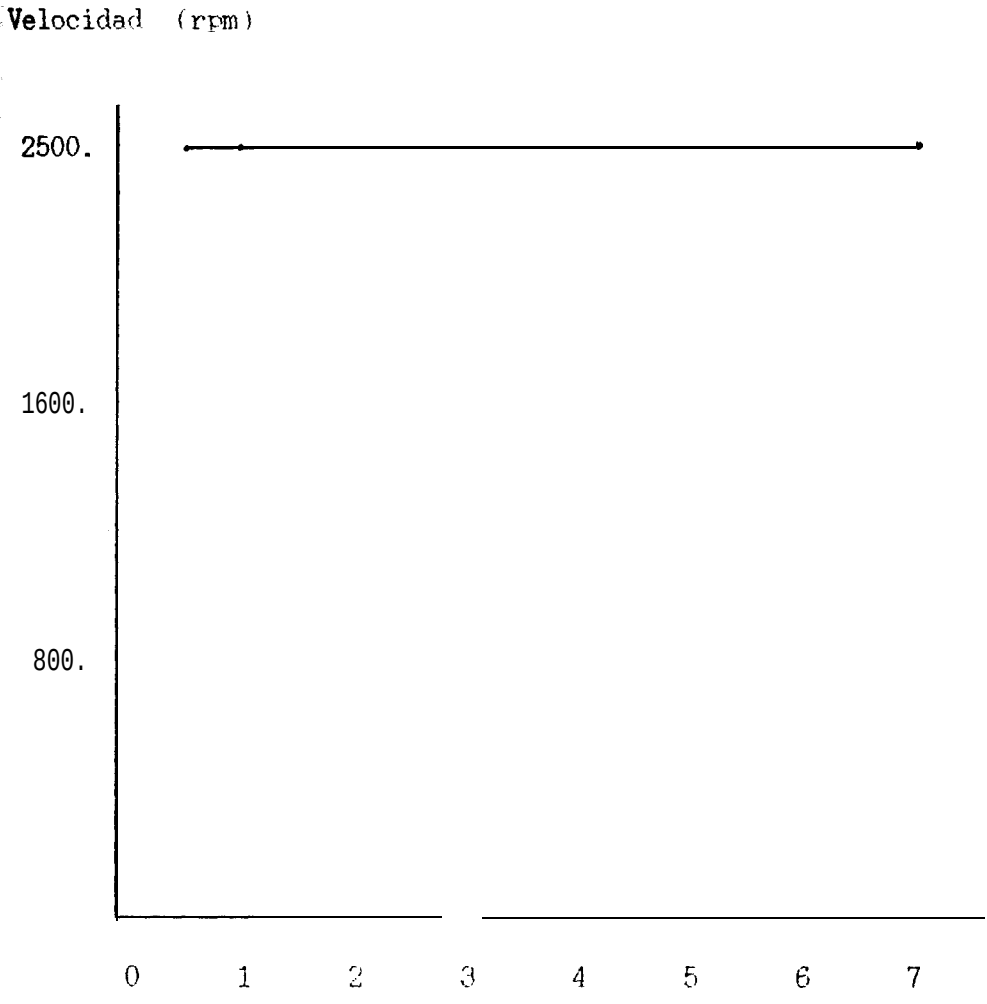


Figura # 7.21. - Velocidad versuscorrientedearmadura lazo de realimentación de-velocidad.

.4. CONTROL DE DOBLE LAZO CERRADO DE VOLTAJE.

Fara la realimentación de voltaje de armadura se utilizó por comodidad los mismos circuitos que para velocidad.

Como el voltaje de armadura es mayor que el obtenido a la salida del tacómetro. se utiliza un divisor de voltaje con resistencias de 160 K y 10 K, tal como se muestra en la figura 5.6 . El acoplador de impedancias' filtro y controlador son los mismos utilizados en el control de velocidad. La característica del lazo se muestra en la figura 7.23 , donde se ha graficado el voltaje de armadura versus la corriente del motor. Se observa que independientemente de las variaciones de la carga acoplada el voltaje permanece constante. El gráfico ha sido obtenido con los datos mostrados en la figura 7.22.

LAZO DE REALIMENTACION DE VOLTAJE DE ARMADURA

Ia (A)	Va (V)
0.5	158
1.0	158
2.0	158
3.0	158
4.0	158
5.0	158
6.0	158
7.0	158

Figura # 7.22.- Tabla de Datos: Lazo de Voltaje

PRUEBAS EXPERIMENTALES COMPLEMENTARIAS

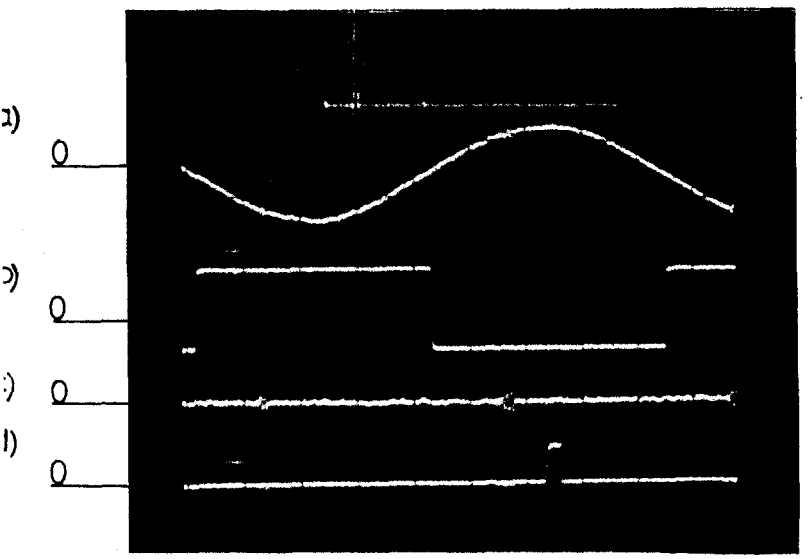
Anteriormente se mencionó la existencia de un medidor digital de ángulo de disparo. Los diagramas de las etapas y de circuito total se ilustran en el capitulo # 6.

En la figura 7.24 se muestran las formas de onda obtenidas en el transformador que da la información del cruce por cero, y etapas inmediatas como el comparador, el diferenciador y del pulso generado.

En la figura 7.25 se ilustra la generación de la señal cuadrada proporcional a alfa, ilustrándose en ellas, el pulso, la salida del diferenciador, la salida del OP-AMP IC-6B y finalmente la salida del transistor Q6A que como vemos es una señal cuadrada proporcional a alfa.

En la figura 7.26 se aprecia la multiplicación de la señal cuadrada proporcional a alfa con la señal proveniente del generador astable de 216 Khz y la tercera señal es el producto de esta multiplicación de señales, es ésta la se utilizará para alimentar el reloj de los contadores usados.

En la figura 7.27 se muestra la generación de la señal del clear de los contadores, se ilustra primero la señal cuadrada proporcional al ángulo alfa: la segunda señal es la salida



gura # 7.24.- Resultados del medidor de ángulo de disparo

a) Información cruce por cero.

b) Salida del comparador 741 IC-6A

c) Señal del diferenciador.

d) Pulso de disparo generado.

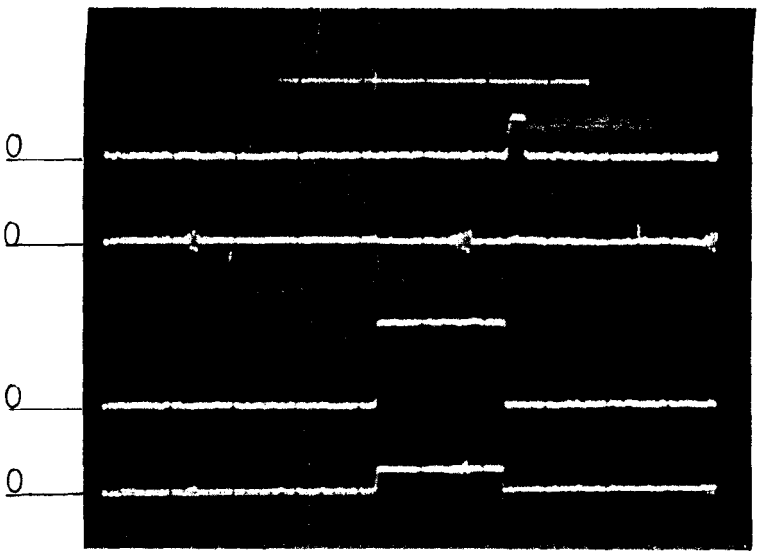
Escala horizontal: 2 ms/div

Escala vertical : a) 10 V/div

b) '20 V/div

c) 5 V/div

d) 10 V/div



ura # 7.25.- Resultados del medidor de ángulo de disparo

a) Pulso de disparo generado

b) Salida del diferenciador

c) Salida del OP-AMP IC-6B

d) Señal cuadrada proporcional a alfa.

Escala horizontal: 2 ms/div

Escala vertical : a) 10 V/div

b) 5 V/div

c) 20 V/div

d) 20 V/div

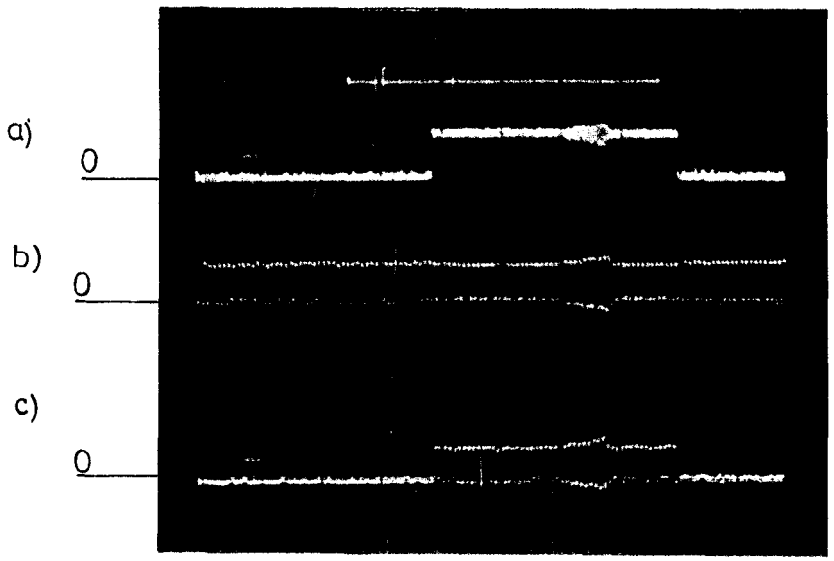


Figura # 7.26.- Resultados del medidor de ángulo de disparo

a) Señal cuadrada proporcional a alfa

b) Salida del generador astable.

c) Señal multiplicación en la puerta AND.

Escala horizontal: 1 ms/div

Escala vertical : a) 5 V/div

b) 5 V/div

c) 5 V/div

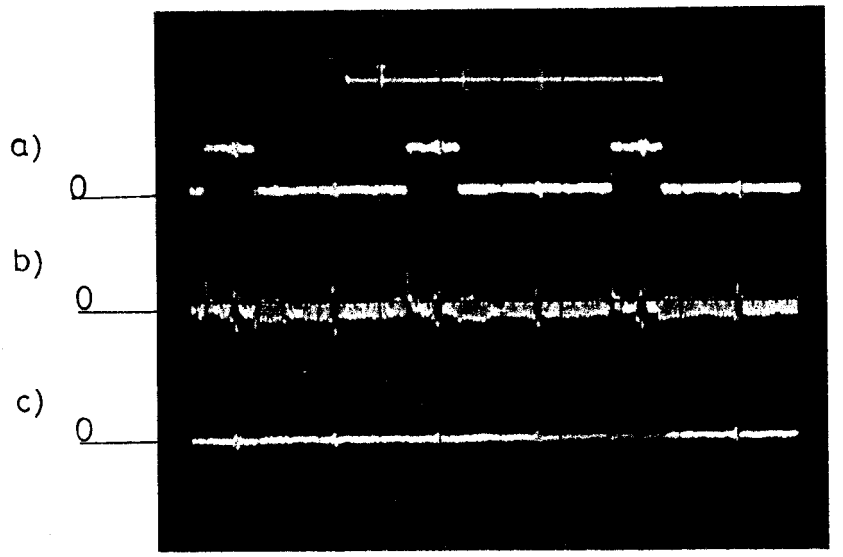


Figura # 7.27.- Resultados del medidor de ángulo de disparo.

a) Señal cuadrada proporcional a alfa

b) Salida del circuito diferenciador.

c) Salida del transitor Q6B

Escala horizontal: 1 ms/div

Escala vertical : a) 5 V/div

b) 5 V/div

c) 5 V/div

del circuito diferenciador, la tercera señal es la salida del transistor Q6B que nos da un flanco descendiente en 360 , 720 grados o sea en cada inicio de ciclo.

3.1. PRUEBAS DEL TRANSFORMADOR CONSTRUIDO.

Anteriormente se mencionó la existencia de los transformadores de fuerza del equipo, llamados transformadores A,B,C. Estos transformadores fueron diseñados para el uso con los bancos de resistencias existentes en el Laboratorio de Controles Industriales Electronicos, así entonces una corriente máxima de 10 amperios circulará por sus secundarios.

El transformador A a diferencia de los otros posee dos devanados independientes que proveen 105 voltios cada uno cuando la entrada, en el primario tenemos 220 voltios: este es el transformador que me permite realizar una conexión monofasica con tap central. también llamada bifásica.

Se realizaron prueba6 con los transformadores y se observó que al hacer circular 10 amperios por el secundario el voltaje disminuía de 105 a 101 voltios. Igual valor se observó para los otros transformadores en mención.

$$\%R = \frac{105 - 101}{105} \times 100 = 3.81\ \%$$

Este valor es permitido como regulación standard en diseño de transformadores.

. REFERENCIAS FINALES.

Anteriormente se mencionó las diferentes configuraciones que se realizaron para probar el funcionamiento total del equipo y cuyos diagramas de conecciones constan en el manual del usuario que se provee en el apéndice B de esta tesis y que además pueden ser sacado de un manual de operaciones perteneciente al equipo Inglés "MAWDLEY´S EDUCATIONAL THIRISTOR DRIVE EQUIPMENT".

Algo que no consta en el manual del equipo Inglés es el medidor digital del ángulo de disparo, los controles externos de limitación de corriente y de variación del Kp, Ki. Lo cual se realizó como parte integral de esta tesis, que fue propuesto con el objeto de aumentar la capacidad de observación de las experiencias que se pueden realizar en el laboratorio de controles industriales electrónicos.

En el apéndice A pueden obtenerse las características

técnicas del equipo: Datos del tiristor utilizado, listado general de los componente3 electrónicos de la circuiteríñ del equipo.

En el apéndice B consta el manual del usuario en el que se dan las instrucciones a seguirse para asegurar el correcto funcionamiento del equipo: también se incluye una foto en la que se puede apreciar una de las prácticas que se efectuaban con el. equipo construído. Cabe mencionar que el equipo fue observado por espacio de cuatro meses, siendo usado sin problemas por los estudiantes para. las prácticas, desde principios de Junio de 1991.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

CONCLUSIONES

1.- Durante el tiempo desde laculminación del trabajo y puesta. en uso el equipo del laboratorio ha sido sometido a diferentes y extremas pruebas indicando esto una alta confiabilidad de los materiales y la circuitería empleada en la Tesis.

2.- Las medidas de protección tomadas en el equipo, a través del tablero de fusibles externos. he ido cumpliendo su objetivo a medida que el caso lo ha requerido.

3.- La inclusión del medidor digital del Angulo de Disparo ha hecho más simples las prácticas en la medida esperada.

4.- La limitación de la corriente ofrece una excelente protección para el motor durante el periodo de arranque.

5.- La inclusión del control externo para variar las constantes KP y KI permitirán incluso controlar la velocidad de motores con diferentes características al que se utiliza en esta Tesis.

.- Las figuras que muestran las señales incluidas en el capítulo 7 permitirán la rápida reparación del equipo en caso de daño.

RECOMENDACIONES

1.- Que el usar una resistencia como transductor de corriente resulta económico , esto no aisla los circuitos de fuerza de los de control: pero. pueden evitarse problemas tomando las debidas precausiones si se realizan correctamente las conecciones.

2.- Bajo la supervisión del Ayudante Académico del Laboratorio indicar al estudiante el seguimiento de la señal de generación del pulso de disparo hasta que llega al tiristor, para que pueda tener una mayor comprensión del funcionamiento del circuito de control y no solo de la parte de fuerza del equipo.

.- Seguir cuidadosamente las instrucciones del manual del usuario para evitar daños de grupo, especialmente al motor cuando se conecte al mismo.

A P E N D I C E S

APENDICE A

DATOS TECNICOS

LISTA DE MATERIALES

Los elementos utilizados para la unidad de disparo compuesta por seis circuitos transistor-izados son:

30 Transistores (SK3444/123A)
6 Transistores (SK3024/128)
30 Diodos de germanio (SK3087)
12 Diodos de silicio (SK3100/519)
6 Diodos Zener. 11V. 1/2W
6 Transformadores de pulsos (3295)
12 Resistencias. 10K. 1/2W
6 Resistencias. 22 ohm, 1/2W
12 Resistencias. 47 ohm. 1/2W
6 Resistencias. 68 ohm. 1/2W
6 Resistencias. 180 ohm. 1/2W
6 Resistencias. 330 ohm. 1/2W
6 Resistencias. 470 ohm. 1/2W
6 Resistencias. 560ohm, 1 /2W
6 Resistencias. 900 ohm , 1/2W
12 Resistencias, 2.2K. 1/2W
6 Resistencias. 6.8K. 1/2W
6 Resistencias. 8.2K. 1/2W
6 Resistencias. 12K. 1/2W
6 Resistencias. 33K. 1/2W

6 Resistencias. 100K. 1/2W

12 Resistencias. 470K. 1/2W

6 Resistencias. íK. 1W

6 Resistencias. 1.8K. 1W

6 Resistencias, 2.2K. 1W

6 Reóstatos. 470 ohm

6 Reóstatos. 1K

6 Condensadores. 0.1uF. 100Vdc

12 Condensadores. 2.2uF. 35Vdc

3 Transformadores. 220/56/28Vrms. 0.5A,
secundaria con terminal central.

Los elementos utilizados en el. circuito de fuerza son:

6 SCR 2N3873. montados en seis disipadores de calor

6 Diodos de potencia. SK3500. montados en seis disipadores de calor.

6 Resistencias. 33 ohm. 2.5W

6 Condensadores. 0.1 uF. 630V. no polarizados

32 Resistencias. 1.5 ohm. 5W. montados en el panel externo.

Los elementos utilizados en el circuito modulador de pulsos son:

6 Transistores (123A)

6 Diodos Zener. 5V. 1W

1 Diodo. 1 amp. 1N4004 1/2W

6 Resistencias. 220 ohm. 1/2W

6 Resistencias. 200 ohm. 1/2W

18 Resistencias 1200 ohm 1/2W

6 Resistencias 1.2K 1/2W

6 Resistencias 22 K 1/2W

1 Resistencia 72 K 1/2W

1 Resistencia 4.7K. 1/2W

6 Condensadores 3.3 uF

1 Condensador 12 KpF

1 Condensador 0.1 uF

7 Timers 555

2 Circuitos integrados (7408)

2 Circuitos integrados (7400)

1 Circuito integrado (7414)

Los elementos utilizados en el circuito de las realimentaciones son:

5 Amplificadores operacionales. TCG941M

1 Diodo de silicio (SK3100/519)

1 Diodo Zener. 10 V. 1W

2 Diodos 1N4004

2 Resistencias 270 ohm, 1/2W

1 Resistencia 380 ohm, 1/2W

'2 Resistencias 470 ohm, 1/2W

1 Resistencia 560 ohm, 1/2W

1 Resistencia. 2.2K, 1/2W

1 Resistencia 5.6K, 1/2W

2 Resistencias 10K, 1/2W

2 Resistencias 33K, 1/2W

1 Resistencia 47K, 1/2W

1 Resistencia 160K, 1/2W

1 Resistencia 0.18 ohm. 15W

1 Resistencia 6.8 M. 1/2W

1 Resistencia 220K, 1/2W

4 Resistencias 22K, 1/2W

1 Reóstato 2.2K

2 Reóstatos 10K

1 Reóstato 100K

1 Reóstato 250K

2 Capacitores 1.5 uF, 35 Vdc

1 Capacitor 10 uF, 35 Vdc

1 Capacitor 0.01 UF, 50 Vdc

Los elementos utilizados para las fuentes de volt-.je dc para polarización son:

1 Transformador de 120/9 Vrms, 1 amp.

1 Transistor 2N3055 NPN (EOG 130)

Los elementos usados para la fuente de para el campo del motor son:

1 Transformador de 120/138 Vrms, 2 amp.

1 Puente de diodos de 2 amp.

Los elementos usados para el. medidor del ángulo de disparo son:

4 Transistores 2N222A

4 Diodos 1N4004

1 Transformador de 220/6 Vrms. 3 amp. secundario con terminal central.

3 Resistencias 120 ohm. 1/2W

1 Resistencia 220 ohm. 1/2W

7 Resistencias 330 ohm. 1/2W

1 Resistencia 1K 1/2W

3 Resistencias 5.6K 1/2W

2 Resistencias 10K 1/2W

1 Resistencia 1 M 1/2K

1 Reóstato 500K

1 Reóstato 10K

5 Condensadores 0.1 uF

1 Condensador 0.33 uF

1 Condensador 1 uF

1 Circuito integrado 7408

2 Circuitos integrados 555

4 Circuitos integrados '74143

2 Circuitos integrados 741

4 Displays de 7 segmentos ánodo común.

DATOS DE TIRISTOR TIPO 2N3873 SCR, VALORES MAXIMOS

VOLTAJE NO REPETITIVO DE PICO INVERSO (VRSOM)	
Puerta abierta	700 v
VOLTAJE NO REPETITIVO DE PICO. ESTADO APAGADO (VDSOM)	
Puerta abierta	700 v
VOLTAJE DE PICO REPETITIVO. ESTADO APAGADO (VRROM)	
Puerta **abierta**	600 v
VOLTAJE DE PICO REPETITIVO. ESTADO APAGADO (VDROM)	
Puerta abierta	600 v
CORRIENTE. ESTADO ENCENDIDO	
TC = 65°C. ángulo de conducción: 180°	
(rms)	35 A
(dc)	22 A
CORRIENTE PICO NO REPETITIVO, ESTADO **ENCENDIDO**	
Para un ciclo completo de voltaje aplicado, T_C = 65° C	
60 Hz (sinusoidal)	350 A
50 Hz (sinusoidal)	300 A
RAZON DE CAMBIO DE CORRIENTE:. ESTADO ENCENDIDO (di/dt)	
Id=VDROM, Ig=200 ma . Tiempo de subida: 0. 5us	200
CORRIENTE DE FUSION (para protección **del** SCR) ($i^2 t$)	
Tj= -40 a 100°C. t=1 a R.3 ms	300 A^2s
DISIPACION DE POTENCIA DE PUERTA	
Flujo pico en sentid.0 directo (para 10us max) (PGM)	4ow
Promedio (para 10ms max) (PGav)	

RANGO DE TEMPERATURA	
Almacenamiento (Tstg)	-40 a 125 °C
Operación (Tc)	-40 a 100 °C
TEMPERATURA DE TERMINAL durante soldadura (Tt)	
Para 3.0 segundos max.	225 °C

APENDICE B
MANUAL DEL USUARIO

Para lo8 usuarios del equipo Inglés Mawdsley la ubicación e identificación de los terminales en el tablero en este equipo . eerá algo ya conocido. Las prácticas que se nombran a continuaoibn fueron hechas con configuraciones no controladas, semi y totalmente controladas; con cargas R, RL y con diodo de paeo libre.

1. Rectificador monofásico (10) de media onda.
2.- Rectificador monofásico de onda completa con toma central.
3.- Rectificador monofásico de onda completa tipo puente.
4.- Rectificador trifásico (30) de media onda.
5.- Rectificador trifásico de onda completa.
6.- Control de lazo abierto de velocidad de un motor DC.
7.- Control de lazo cerrado de corriente de un motor DC.
8.- Control de doble lazo cerrado de velocidad de un motor DC.
9.- Control de doble lazo cerrado de voltaje de armadura de un motor DC.

Se deben seguir las siguientes instrucciones para asegurar el correcto funcionamiento del equipo:

1.- Bnergixar el equipo, lo que se verifica al encenderse la luz piloto en el tablero frontal inferior (figura 1.3).

2.- Poner los interruptores, trifásico de energía y monofásico de carga en posición OFF, (figura # 1.2).

3.- Unir los terminales T1 y T3 y asegurarse con el medidor de ángulo que lea 180 o 150 grados para configuración monofásica 0 trifásica respectivamente. utilizando para esto el potenciómetro "Referencia" para que el voltaje controlado empiece desde 0.

4.- Conectar el tablero de energia siguiendo las instrucciones dadas para cada configuración específica.

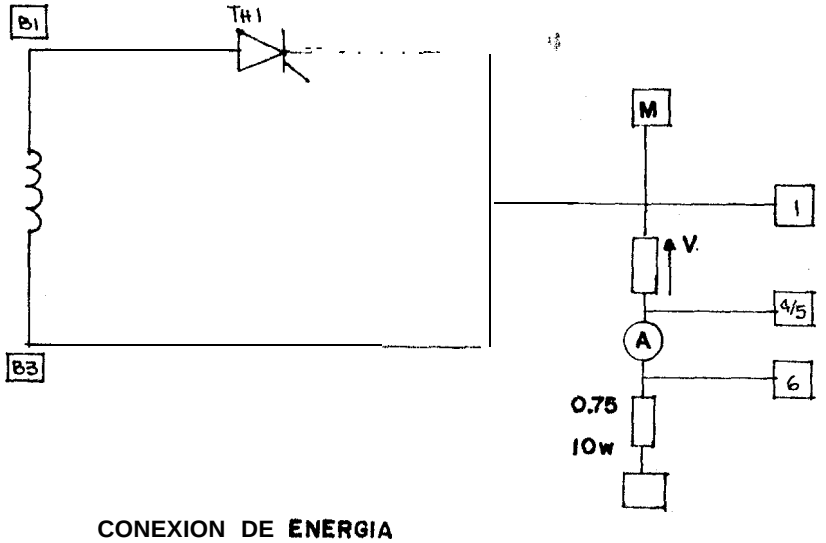
5.- Hacer las conexiones de los tiristores y diodos necesarios para la práctica. conectando además los pulsos de disparo "P" con las compuertas no físicas "G" (las borneras "G" color rojo son de observación y no de conexión) correspondientes para cada tiristor y según la configuración empleada.

6.- Energizar los terminales "B", uniéndolos a los terminales "S" mediante el interruptor trifásico.

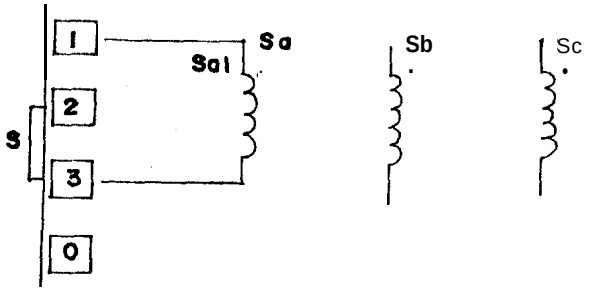
7.- Energizar la carga mediante el interruptor monofásico.

8.- Hacer las mediciones correspondientes utilizando los puntos de prueba del tablero principal (figura # 1.2).

A continuación se detallan algunas de las configuraciones que se puedan realizar en el equipo.



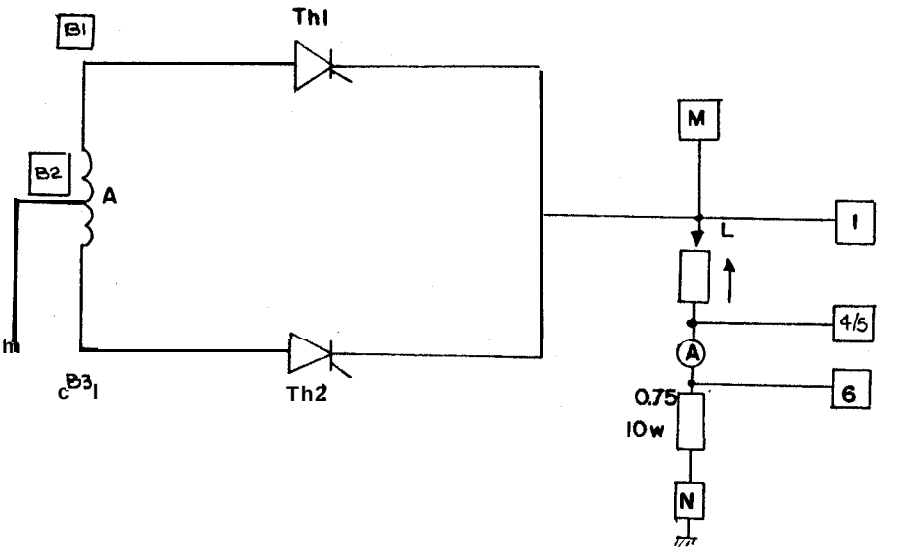
CONEXION DE ENERGIA



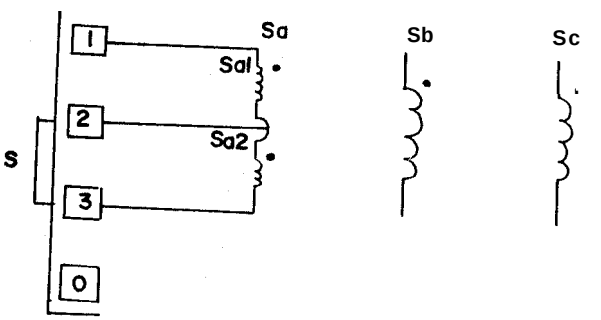
CONEXION DE PULSOS

PI _____ G1

Figura # 9.1. - Conexión Física del Rectificador Monofásico de Media Onda.



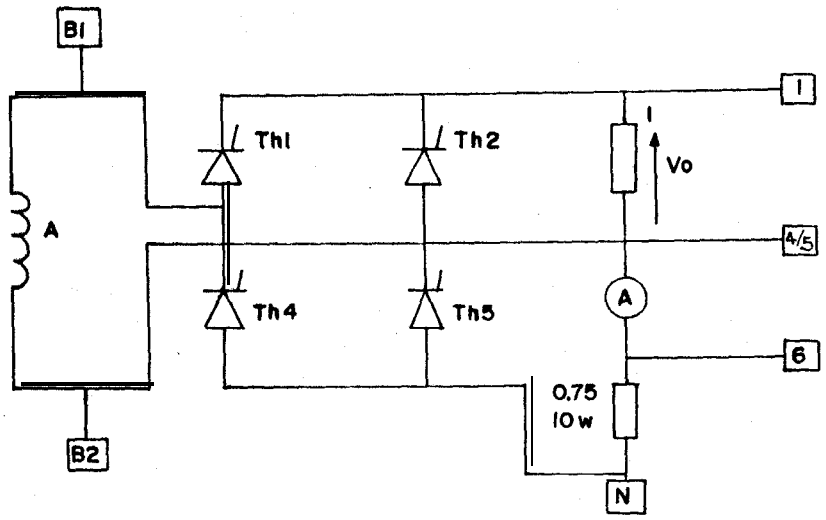
CONEXION D E ENERGIA



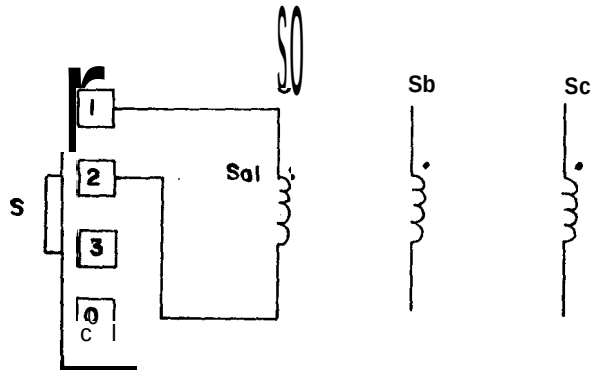
CONEXION DE PULSOS

P1 ___ G1
P4 ___ G4

Figura # 9.2.- Conexión Física del Rectificador Monofásico de Onda Completa con toma central.



CONEXION DE ENERGIA

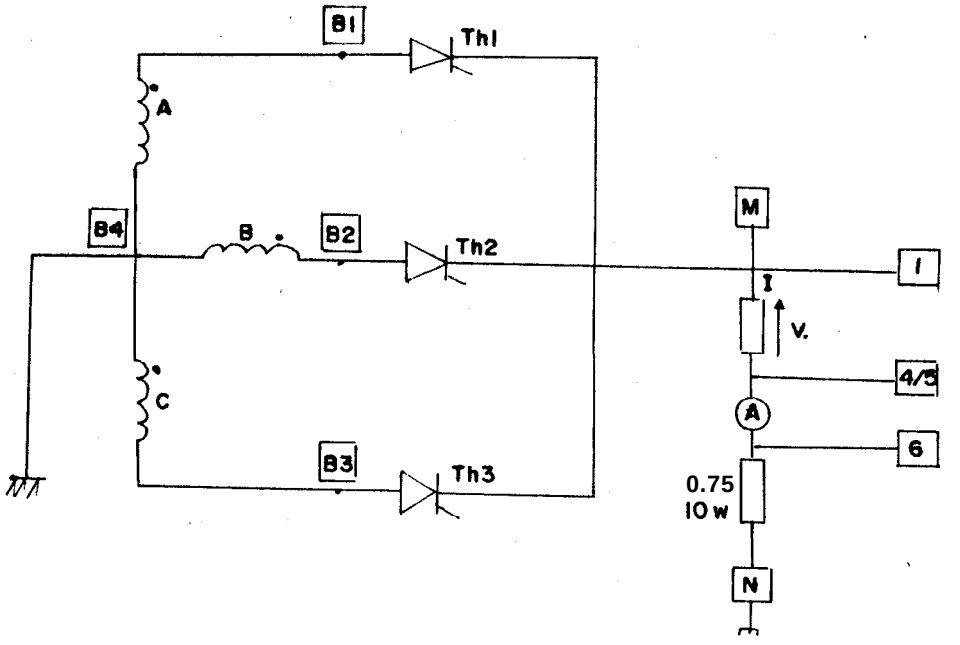


CONEXION DE PULSOS

PI ⟹ G1 - - G5

P4 ⟹ G4 _____ G2

Figura # 9.3.- Conexión Física del Rectificador de Onda Completa, Tipo Fuente.



CONEXION DE ENERGIA

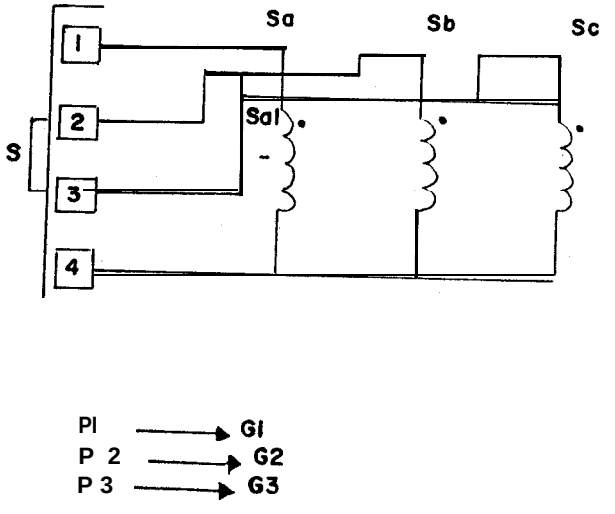


Figura # 9.4.- Conexión Física del Rectificador Trifásico de Media Onda.

CONTROL DE MOTOR

Observar las siguientesinstrucciones que detallan la forma correcta de operar el control de velocidad del motor DC.

1.- Realizar la configuración del puente rectificador completamente controlado con diodo de paso libre. tal como se indica en la figura # 9.5 .

2.- Conectar la armadura de motor en los terminales 1 y 4 y un amperímetro que indicará la corriente DC por la armadura del motor, ponerlo entre los terminales 5 y 6, ver figura # 9.6.

3.- El voltaje de campo del motor (presente al energizar el equipo) está en los terminales 7 y 10, debe asegurarse de que hayan aproximadamente 148Vdc . antes de arrancar el motor.

4.- Arrancar el motor lentamente hasta una velocidad prudencial, en lazo abierto Tl con T9, polaridad positiva es decir el switch hacia arriba, y para caso de realimentación tener presente que el potenciómetro de referencia deberá ser girado a partir del extremo derecho en donde es 0 voltios, hacia la izquierda.

Comprobar la polaridad de voltaje del tacómetro; por esto se conecta en el terminal # 11 (el positivo) y en el # 12 (el negativo). Luego, regresa con el potenciómetro

"REFERENCIA" a velocidad cero y realizar las experiencias citadas haciendo las siguientes conexiones:

LAZO CERRADO DE CORRIENTE.-

Polaridad positiva (Switch hacia arriba? voltaje negativo)

Tl --> T7 T8 --> T9

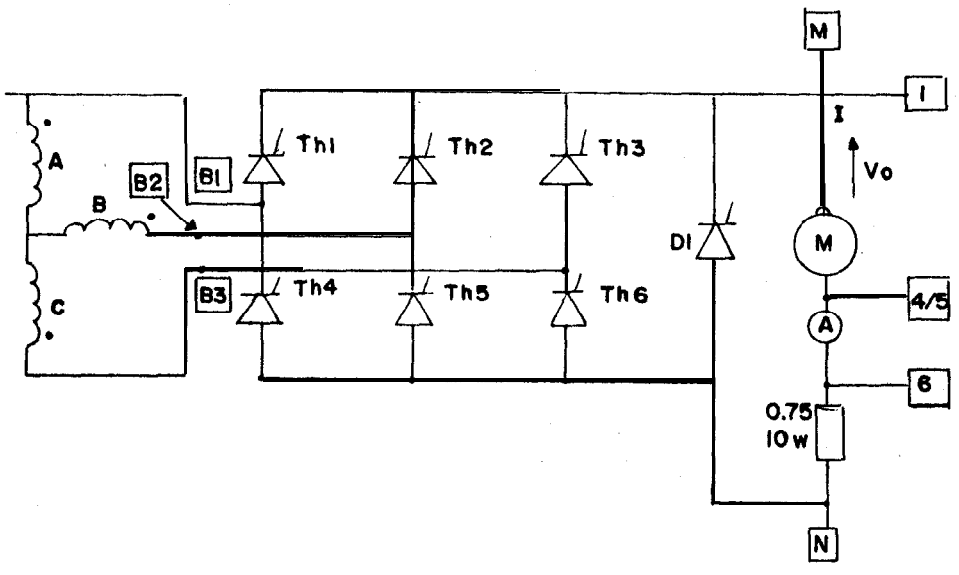
LAZO CERRADO DE VELOCIDAD Y CORRIENTE DE ARMADURA.-

Polaridad negativa (Switch hacia abajo. voltaje positivo)

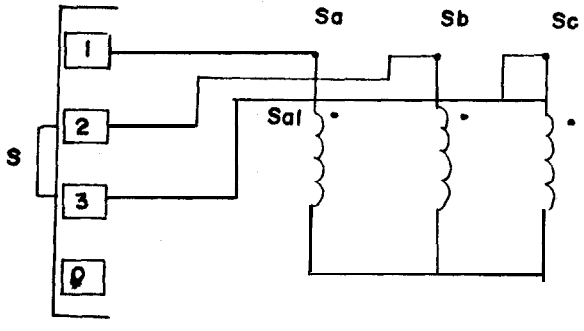
Tl --> T2 T4 --> T5 T6 --> T7 T8 --> T9

LAZO CERRADO DE VOLTAJE Y CORRIENTE DE ARMADURA.-

Tl --> T2 T3 --> T5 T6 --> T7 T8 --> T9.



CONE XION D E ENERGIA



CONEXION DE PULSos

P6 —— P1 ⟹ G1
P4 —— P2 ⟹ G2
P5 —— P3 ⟹ G3
P3 —— P4 ⟹ G4
P1 —— P5 ⟹ G5
P2 —— P6 ⟹ G 6

Figura # 9.5.- Conexión Fisica del Rectificador Trifásico completamente controlado.

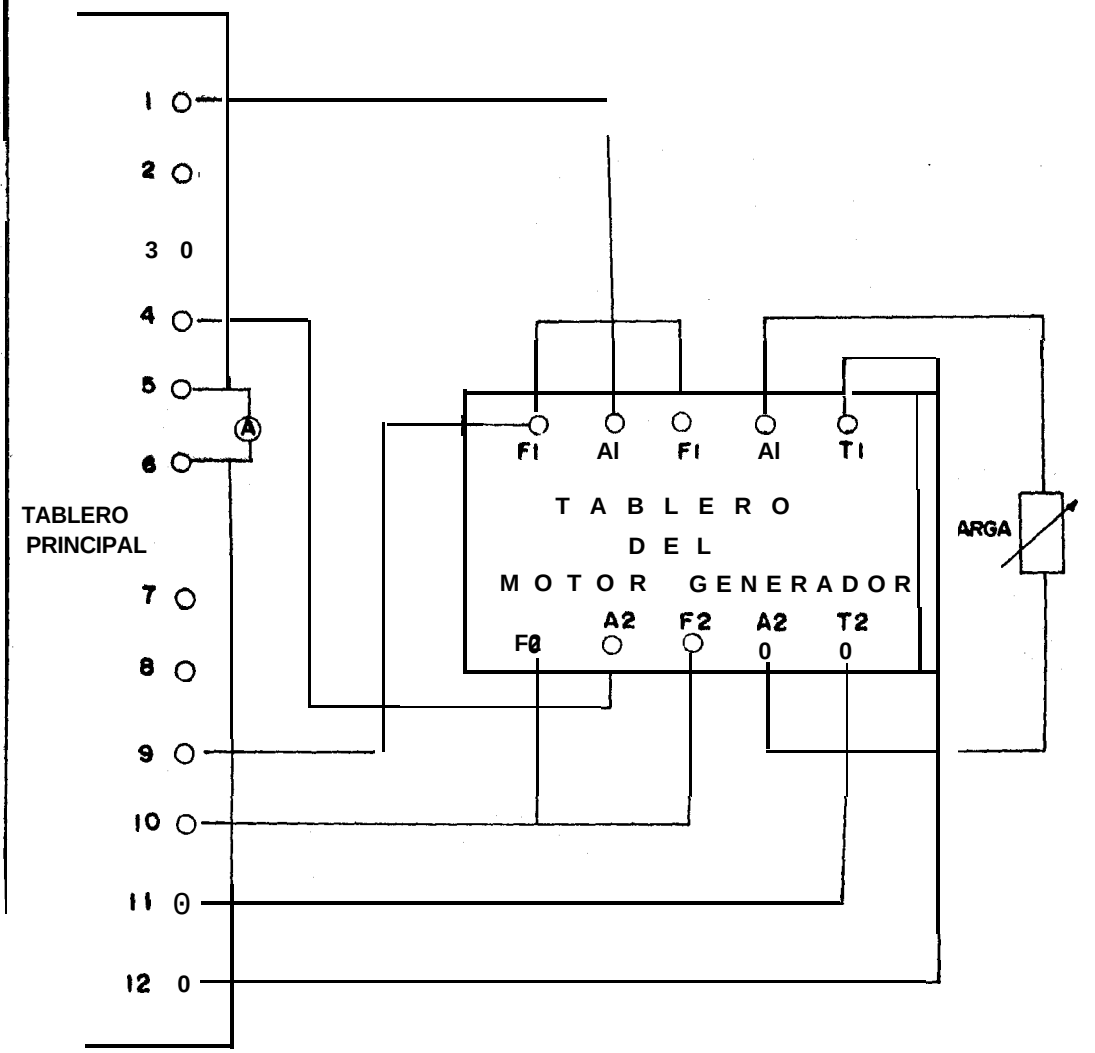


Figura # 9.6.- Conexión Fisica del Motor al Tablero Principal.

Figura # 9.7.- Vista del Equipo construido. usándose para la práctica con el Motor -Generador.

A P E N D I C E C

D I A G R A M A G E N E R A L D E L E Q U I P O

El equipo posee su circuiteria dispuesta en varias tarjetas.

A continuación se ilustran los nombres de las tarjetas y partes del equipo, y se le asigna una numeración que servirá como ayuda para la ubicación de señales y de elementos.

Tarjetas:

1.- Bloque de Transformadores de Fuerza del Equipo.

2.- Transformadores de Sincronismo.

3.- Fuente de +15 . -15 y +24 Vdc y Circuito de Voltaje Vx.

4.- Fuente de Voltaje DC del campo de motor.

5.- Bloques de los 6 Circuitos de Disparo.

6.- Circuitos de Realimentacih.

7.- Circuito del Modulador de Pulsos.

8.- Puente de Tiristores.

9.- Puente de Diodos de Potencia.

10.- Fuente de +5 Voltios.

11.- Circuito del Medidor de Angulo de Disparo.

e fue asignando nombre y números de la manera como se van

presentando físicamente desde la parte inferior hasta la superior, tal como 8e visualiza en la figura # 1.4 en la que nos da una vista interior del Equipo.

Tarjeta # 1 .- El bloque 1 posee los transformadores de la fuerza dél equipo y son tres transformadores monofásicos de 1 KVA conectados en delta cuya salida de sus secundarios después de pasar por las protecciones (fusibles) estarán presentes en el panel exterior inferior, y disponibles para que el usuario haga sus conecciones tal como se hace en el equipo ingles MAWDLEY´S.

Tarjeta # 2 .- Aquí tenemos los transformadores de sincronismo que alimentan a los circuitos de Disparo de los tiristores, en la página # 27 tenemos un diagrama en el que podemos ver las conecciones de los bloques # 1 y # 2.

Tarjeta # 3.- Los terminales VX- VX+, se conectan al switch llamado polaridad que está en el tablero de Control, estando VX- en el borde superior y VX+ en el borde inferior y el terminal llamado POT está conectado al potenciómetro "REFERENCIA" ubicado en tablero de control. También tenemos aquí las fuentes de +5 , -5, y 24 Vdc. las salidas de esta fuente están conectadas a la sección de fusibles del Equipo.

Los diagramas de los circuitos de esta Tarjeta se ilustran en las páginas 31 y 33 del capítulo 2.

Tarjeta # 4.- Aquí está mohada la fuente para el -campo del motor, la cual se conecta al tablero de control, consiste en el transformador de 120 a 138 (2A), y un puente de diodos de (ZA) conectado a su secundario.

Tarjeta # 5.- Están situadas las 6 tarjetas que generan el pulso de disparo para cada fase. Cada tarjeta tiene 8 terminales a saber:

+24, Vs. Va. 0V, Pg . Prgn . Gn, Kn .

Los terminales Vs son independ ientes, uno para cada tarjeta, es decir, uno para cada fase. y están conectadas directamente con la salida de los transformadores de sincronismo de la tarjeta # 2.

Los terminales +24, Va, 0v, son comunes para las 6 tarjetas; el terminal Va tiene conexión directa con el terminal T9.

Los terminales Pg, están conectados a la tarjeta # 7, tarjeta que produce una ráfaga por cada pulso de disparo generado en la tarjeta # 5. Esa ráfaga regresa a la Tarjeta # 5 a través de los terminales Prgn.

Los terminales Gn y Kn tienen conexión física directa con los gates físicos de los tiristores dispuestos en la tarjeta # 9. El diagrama de una de estas tarjetas se ilustra en la. página # 48 capí tulo 3.

Tarjeta # 6.- Tenemos conectados los siguientes terminales Ov. I+

T3, VA, TAC, T4, T5. T7, VCW. VCI. REG 1, REG KP, WREF.

VCW está conectado a T6 en el tablero de conexiones.
WREF está conectado a T2 en el tablero de conexiones.
VCI está conectado a T8 en el tablero de conexiones.
IREF está conectado a T7 en el tablero de conexiones.

Los terminales REG 1 y REG KP están conectados a loo potenciómetros en el tablero de conexiones.

Los circuitos de esta- tarjeta se encuentran en las páginas 65 y 69 del capítulo 5.

Tarjeta # 7.- Tenemos el circuito modulador de pulsos. los terminales +24, +5, Ov son la alimentación a la tarjeta.

Tenemos los terminales: Pulso, 1 INV, 2 INV, 3 INV, 4 INV. 5 INV, 6 INV, que son los pulsos invertidos de cada fase y que tienen conexión directa con los terminales P en -el tablero de conexiones.

Los terminales G1A, G1B hasta los terminales G6A a G6B tienen conexión directa con los terminales G dispuestos en el tablero de

tarjeta se conecta y alimenta a los grupos de displays de 7 segmentos presentes en el tablero. El circuito de esta tarjeta se ilustra en la página 81 del capítulo 6.

A continuación las dos ilustraciones siguientes muestran un diagrama general del equipo en el que se aprecia las conexiones de las tarjetas entre ellas y al tablero de conexiones. En las ilustraciones restantes se muestra un detalle pormenorizado de cada tarjeta o bloque del equipo, que consistirá en una foto de la tarjeta o bloque, y de las que poseen circuitería se mostrará además una ilustración de la disposición de los elementos de la tarjeta Y una ilustración del circuito impreso correspondiente.

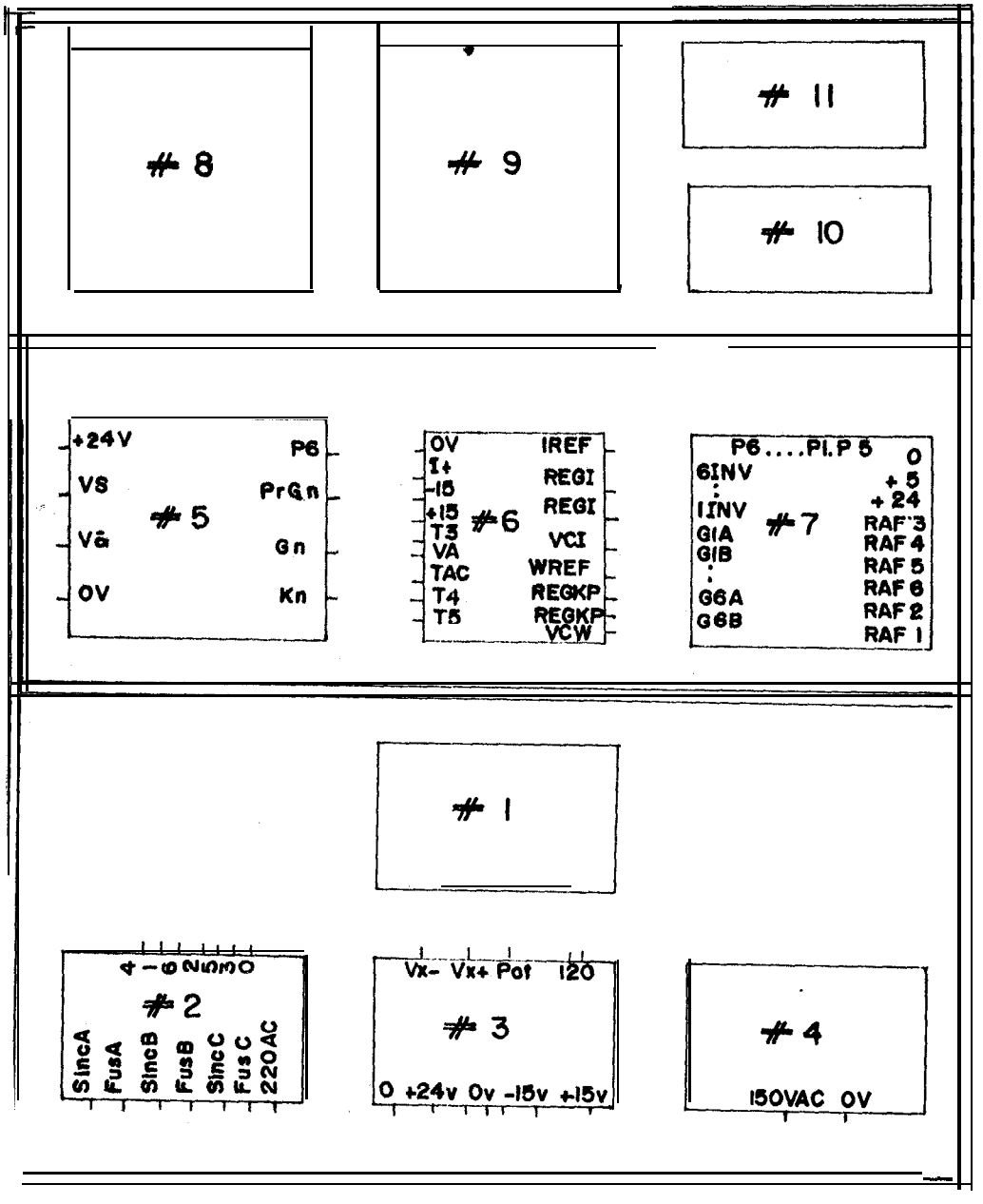


Figura # 10.1.- Posicionamiento de Tarjetas en el Equipo.

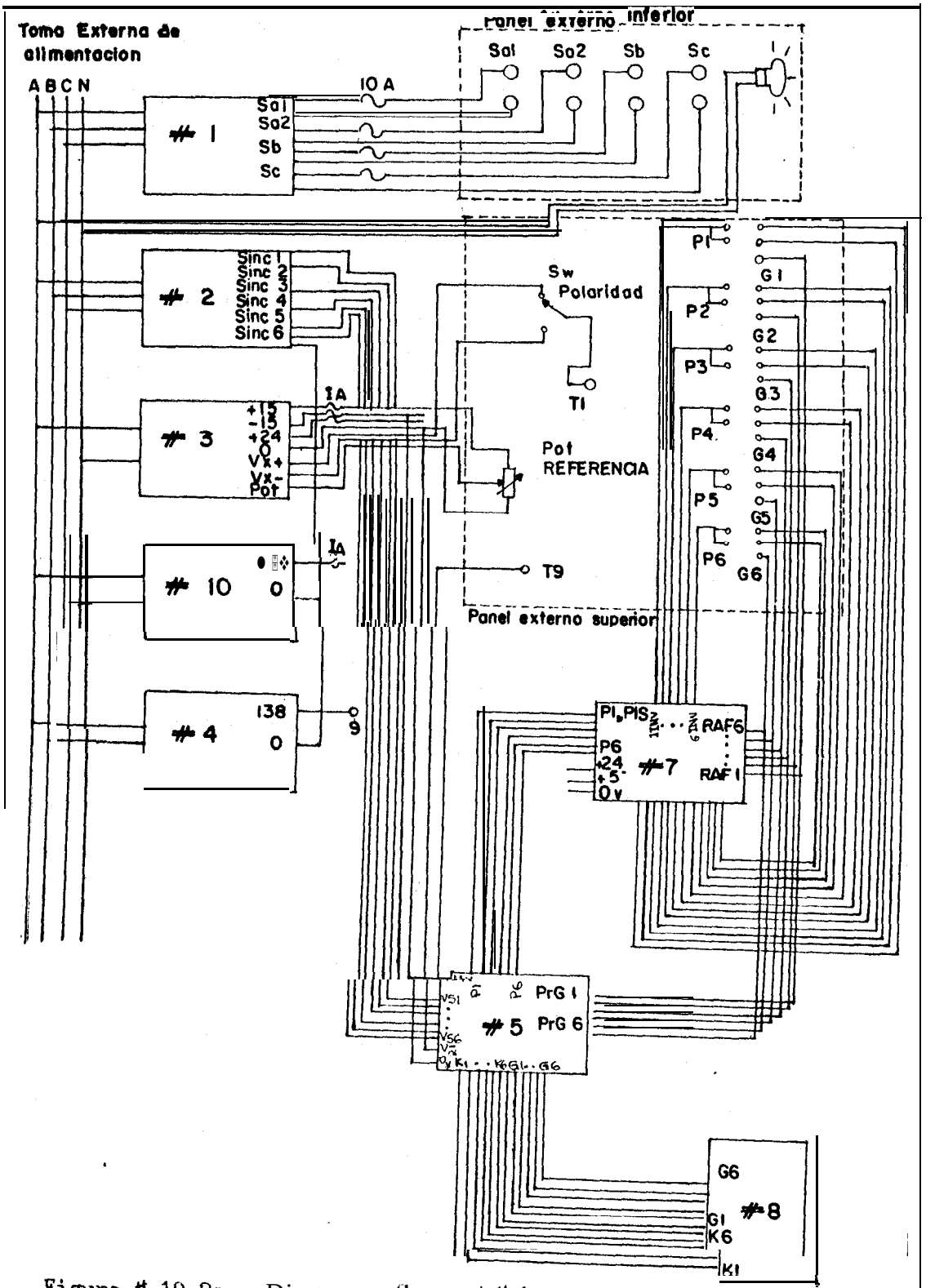


Figura # 10.2a.- Diagrama General # 1 ,

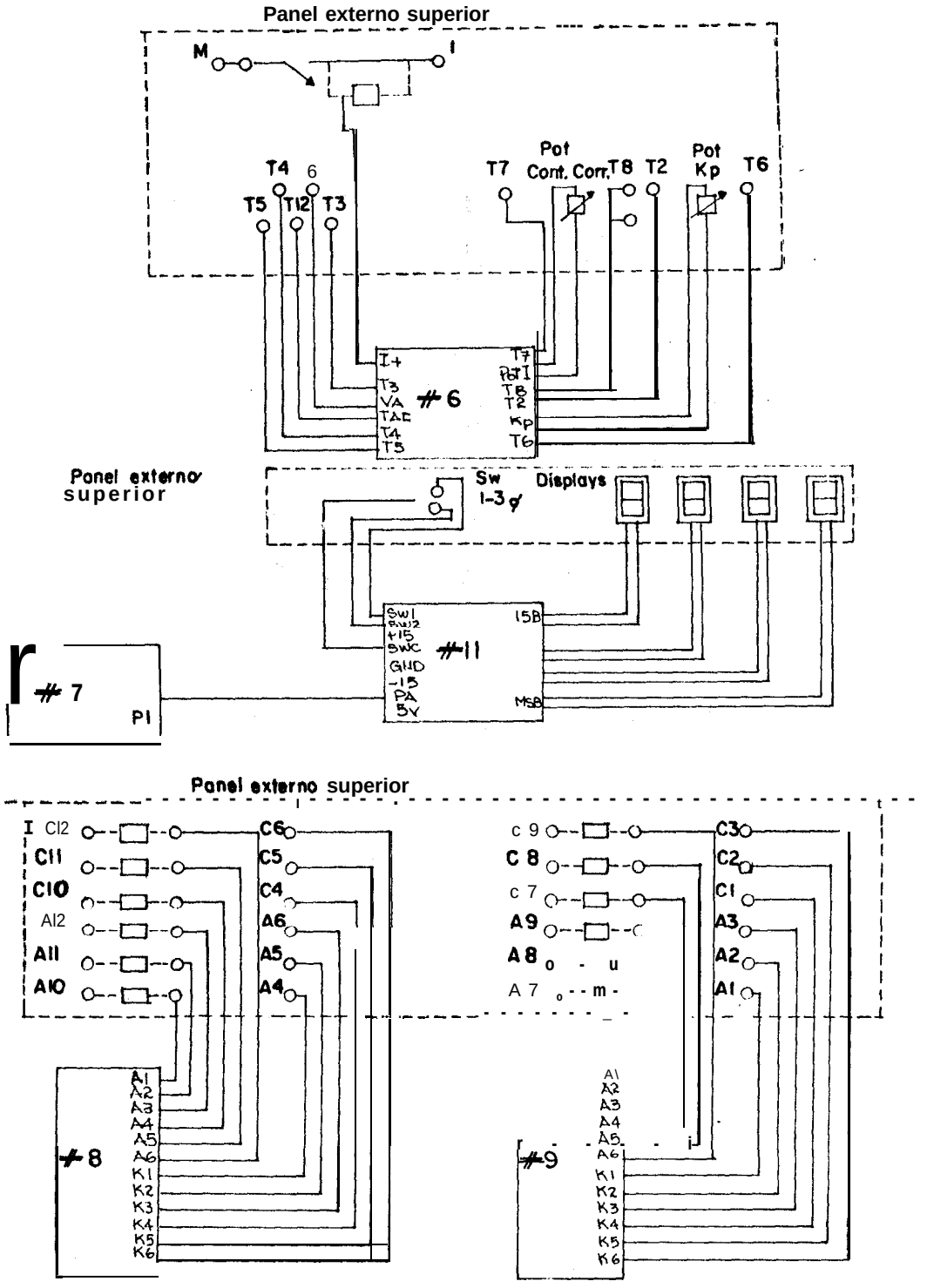


Figura # 10.2b.- Diagrama General # 2 .

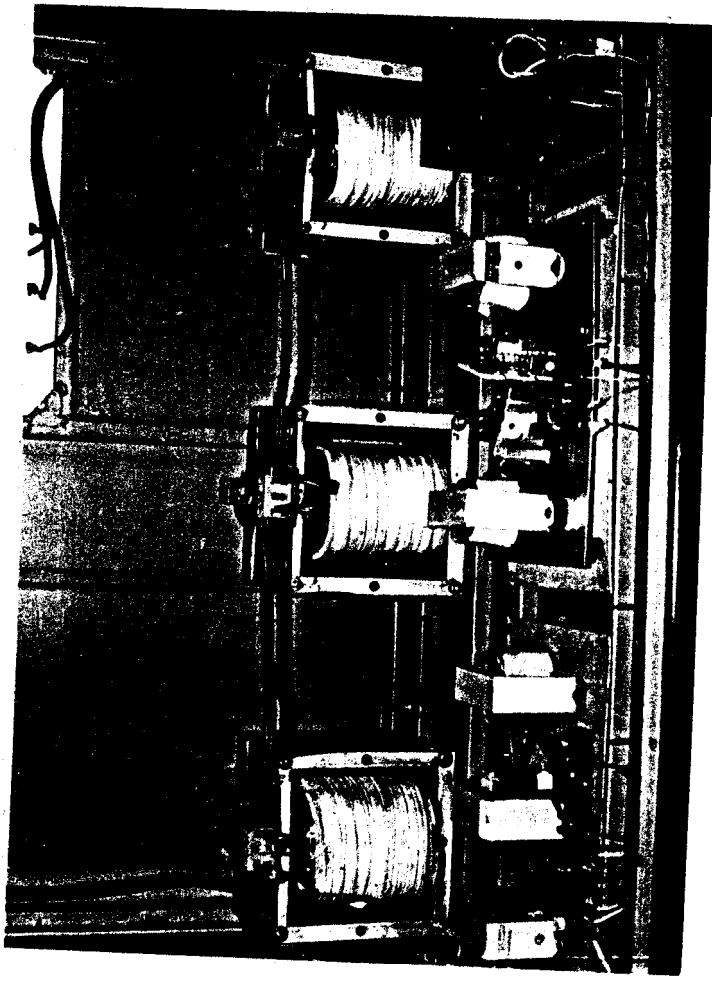


Figura # 10.3. - Foto de la Tarjeta # 1.

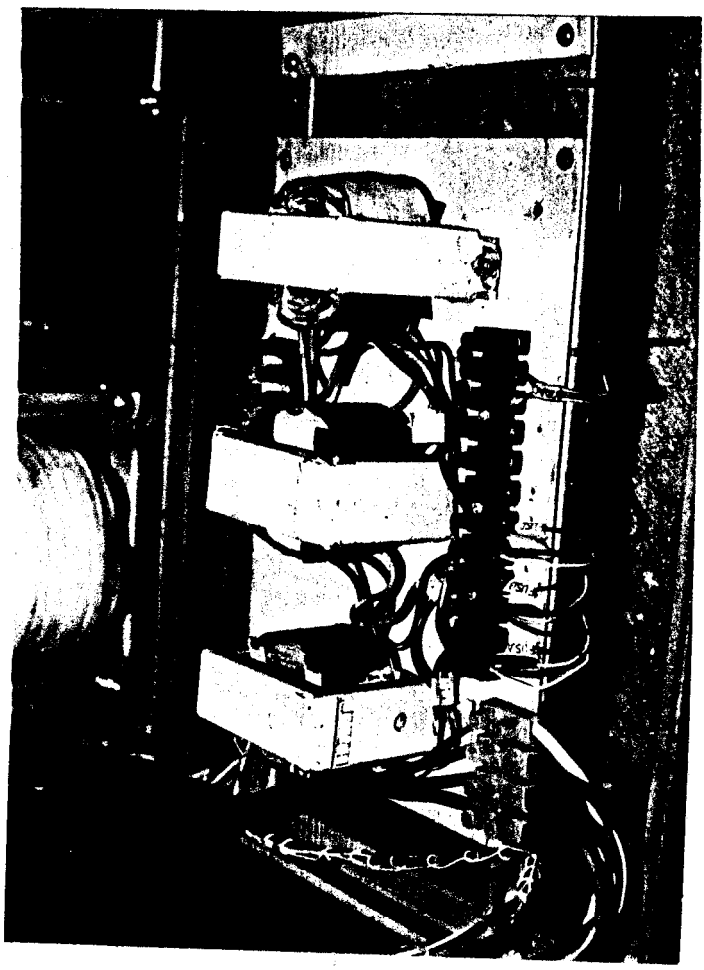


Figura # 10.4.- Foto de la Tarjeta # 2 .

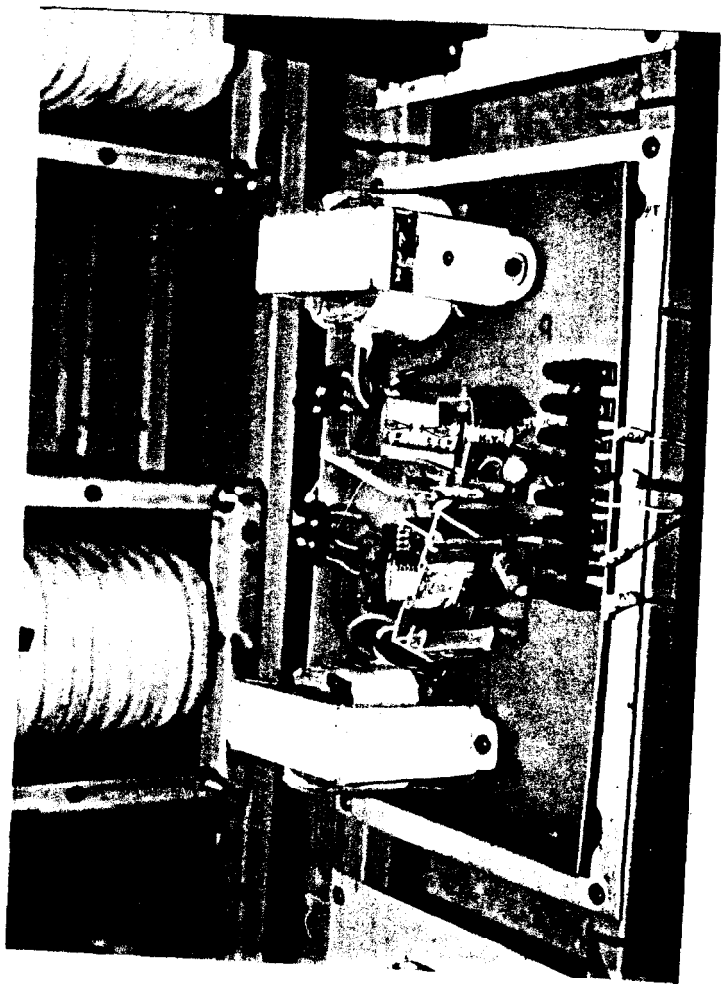


Figura # 10.5.- Foto de la Tarjeta # 3 .

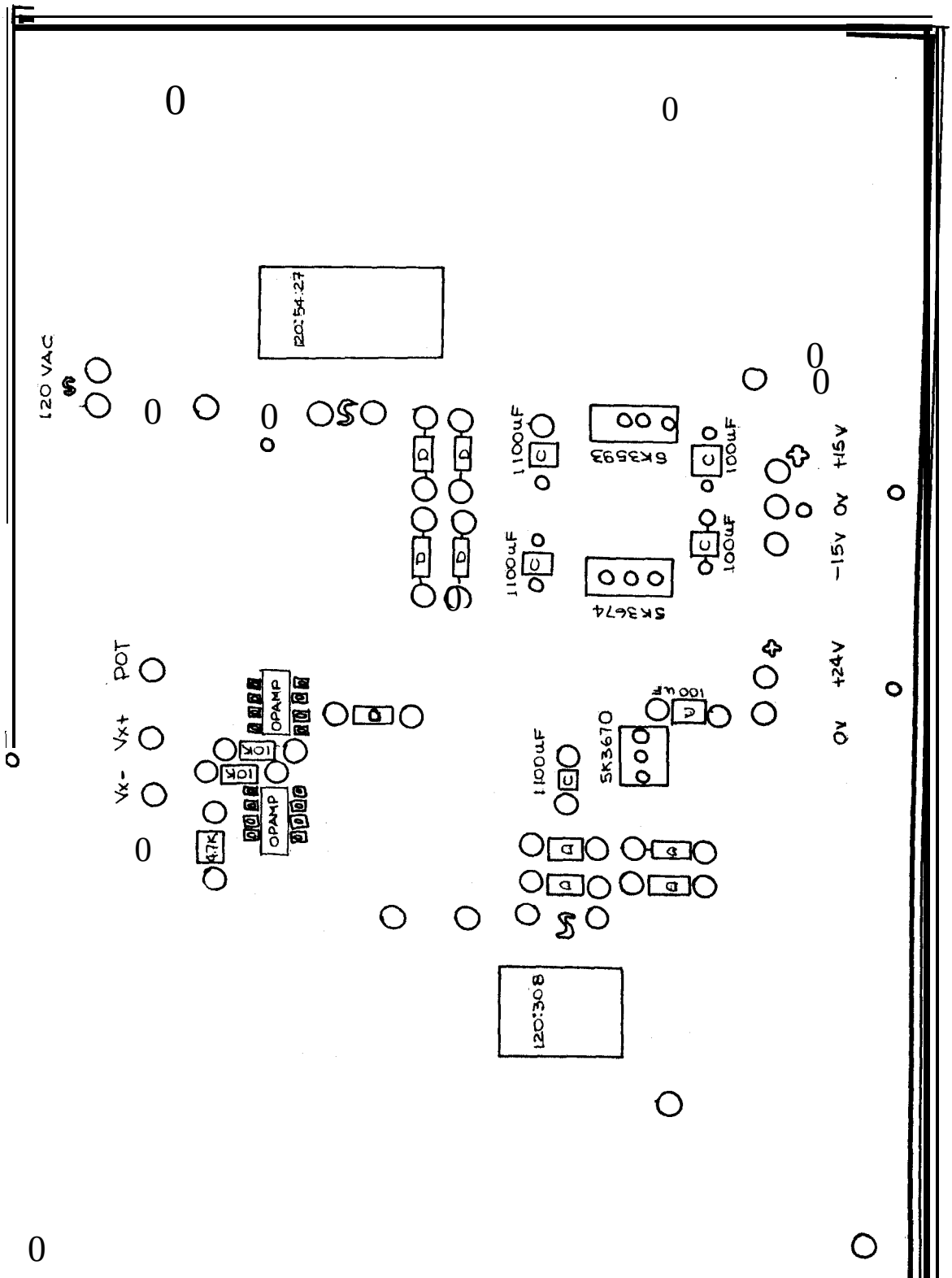


Figura # 10.6.- Disposición de los Elementos de la Tarjeta # 3.

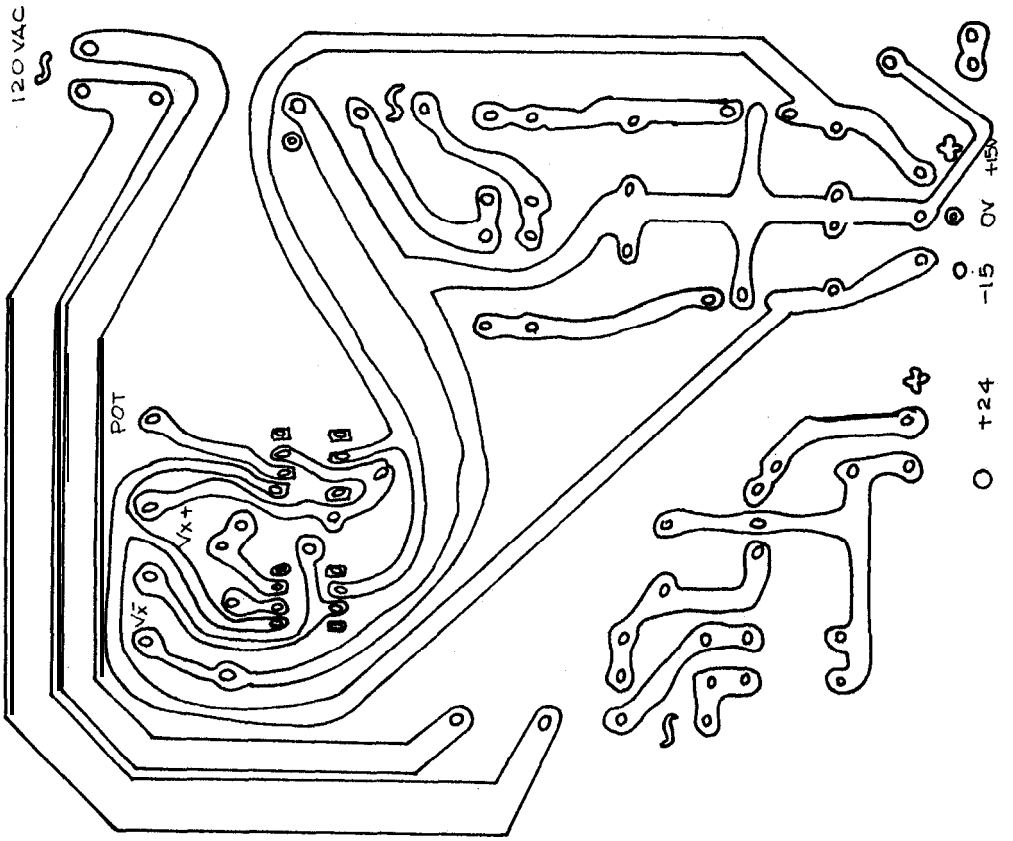


Figura # 10.7.- Circuito Impreso de la Tarjeta # 3.

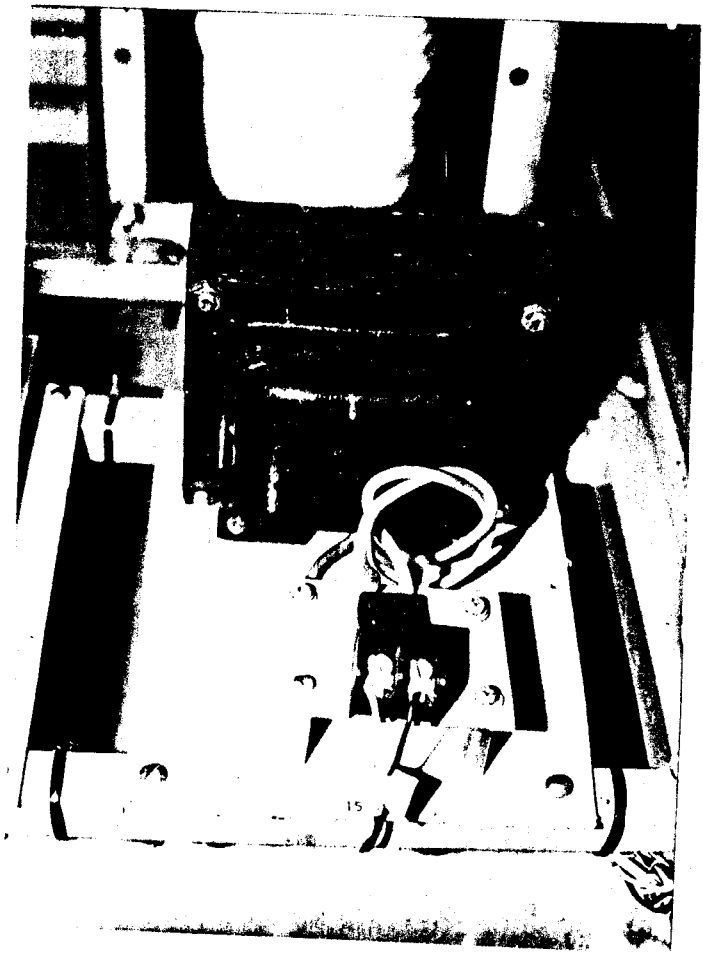


Figura # 10.8.- Foto de la Tarjeta # 4 .

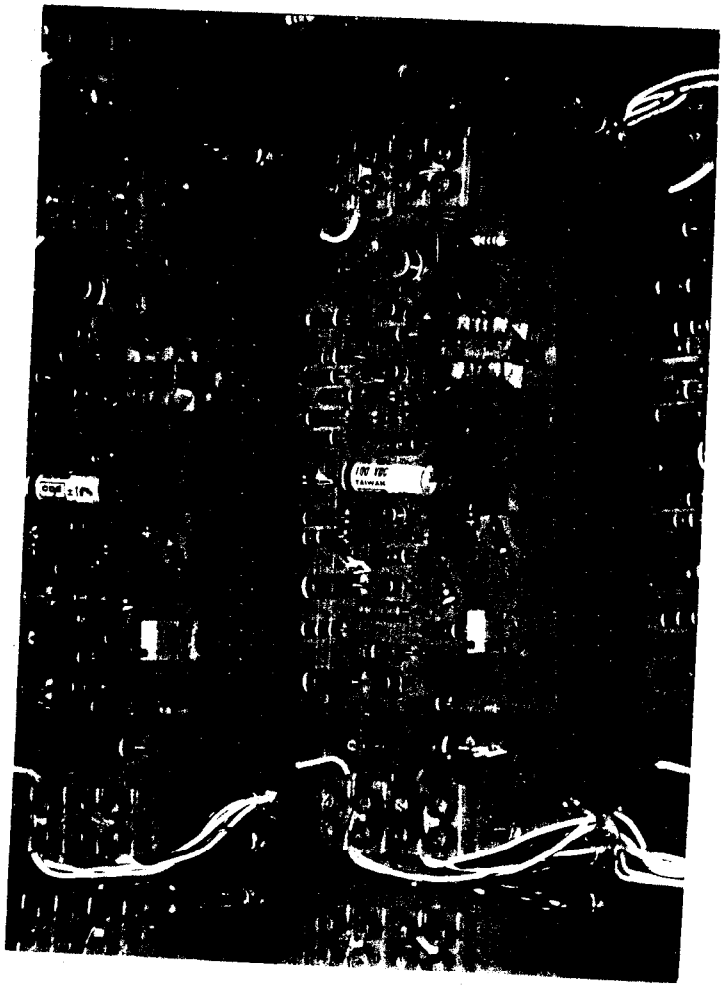


Figura # 10.9.- Foto de la Tarjeta # 5 .

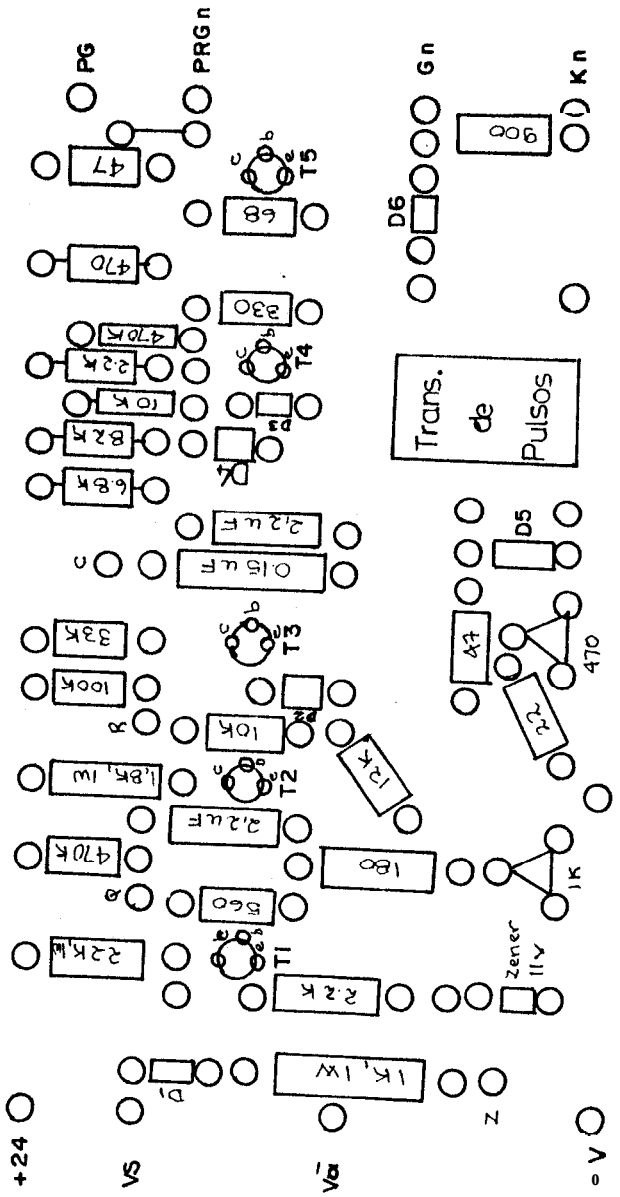


Figura # 10.10.- Disposición de los Elementos de la Tarjeta # 5.

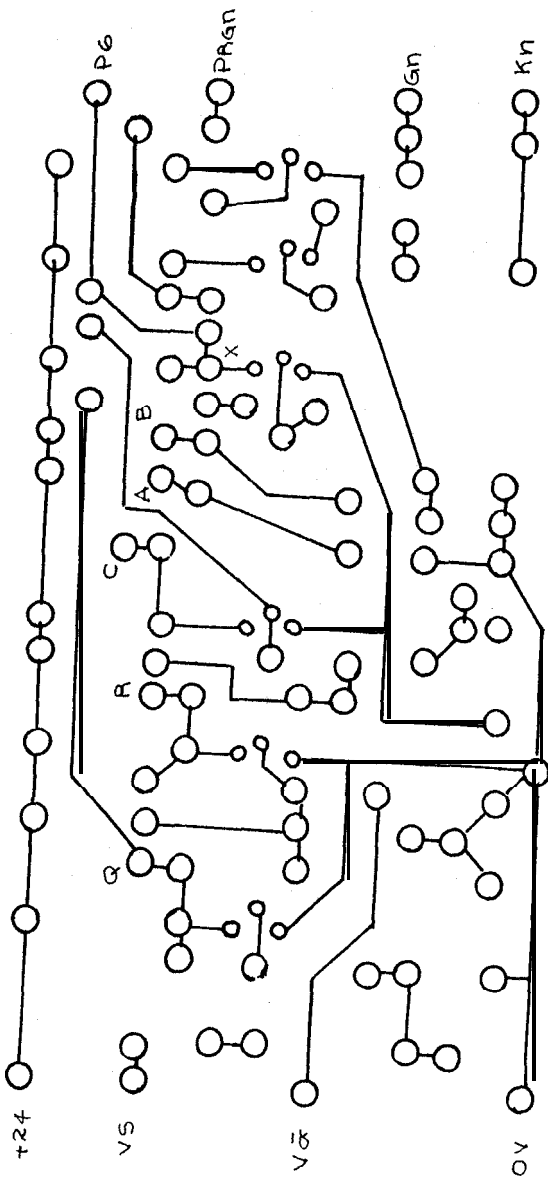


Figura # 10.11.- Circuito Impreso de la Tarjeta # 5.

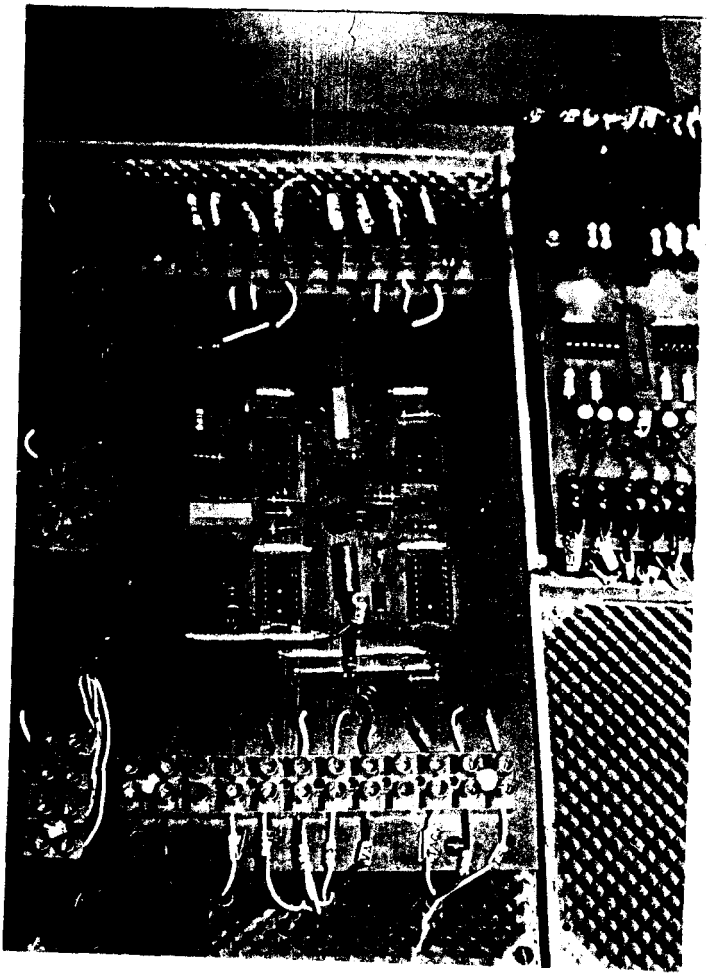


Figura # 10.12.- Foto de la Tarjeta # 6 .

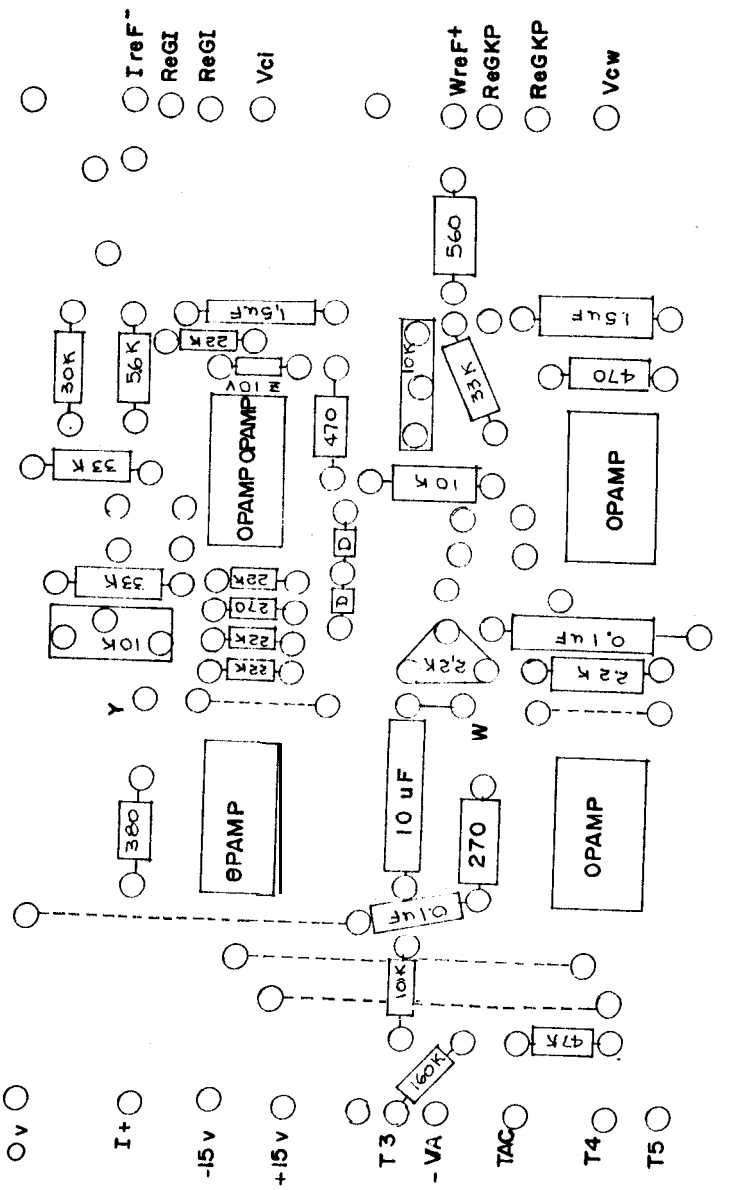
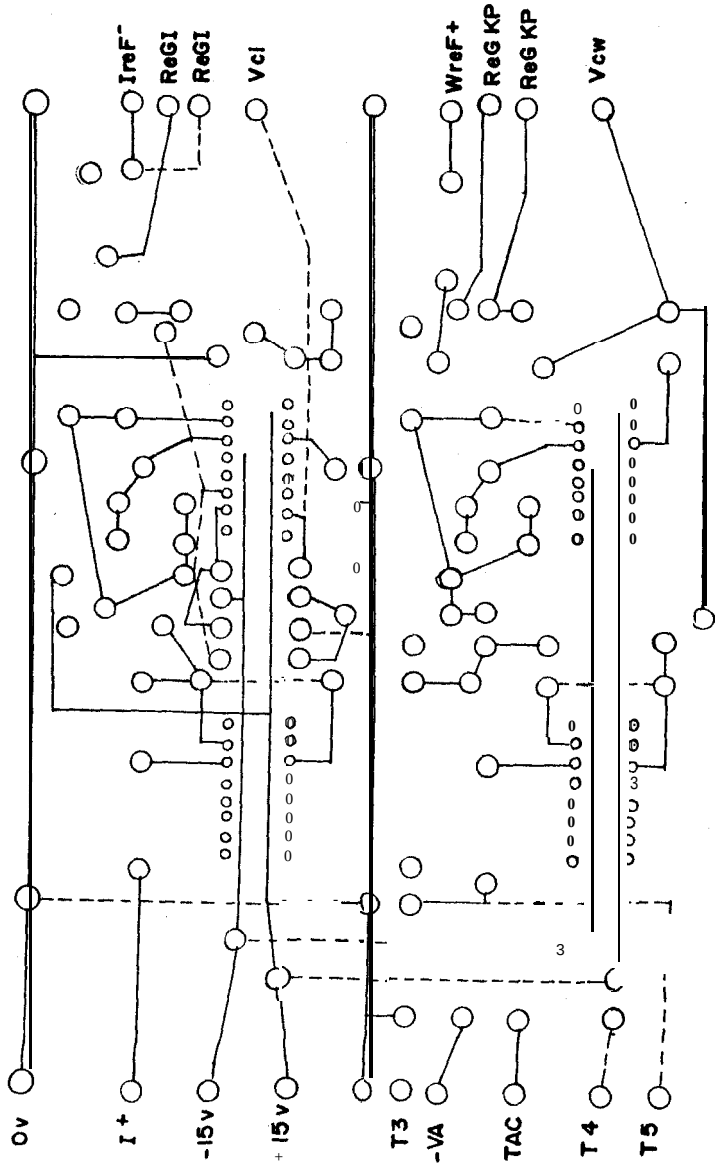


Figura # 10.13.- Disposición de los Elementos de la Tarjeta # 6.



gura # 10.14.- Circuito Impreso de la Tarjeta # 6.

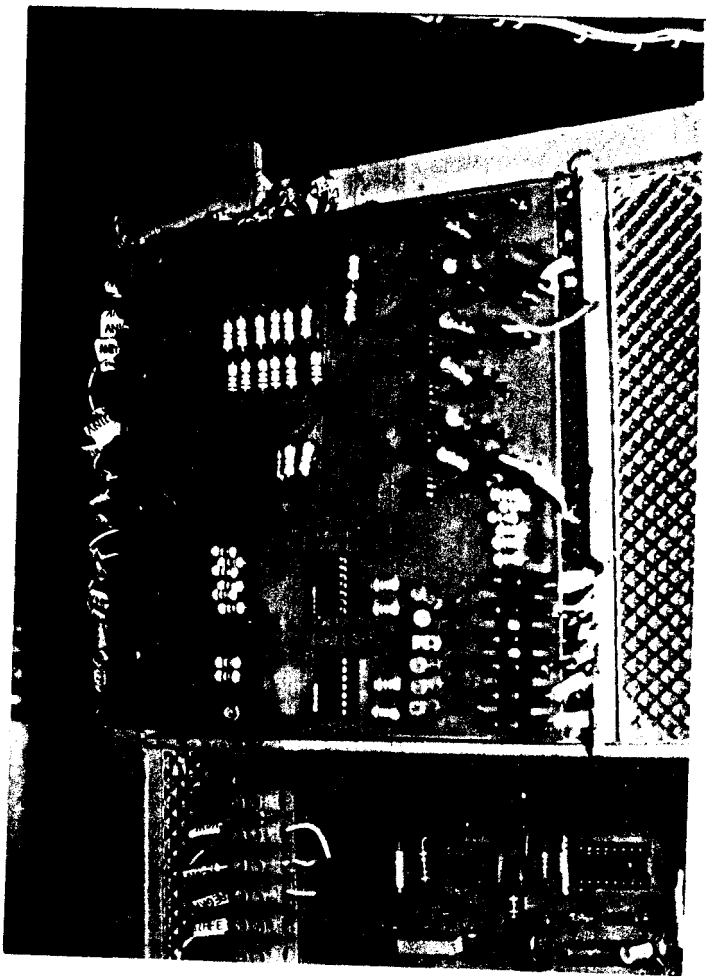


Figura # 10.15.- Foto de la Tarjeta # 7 .

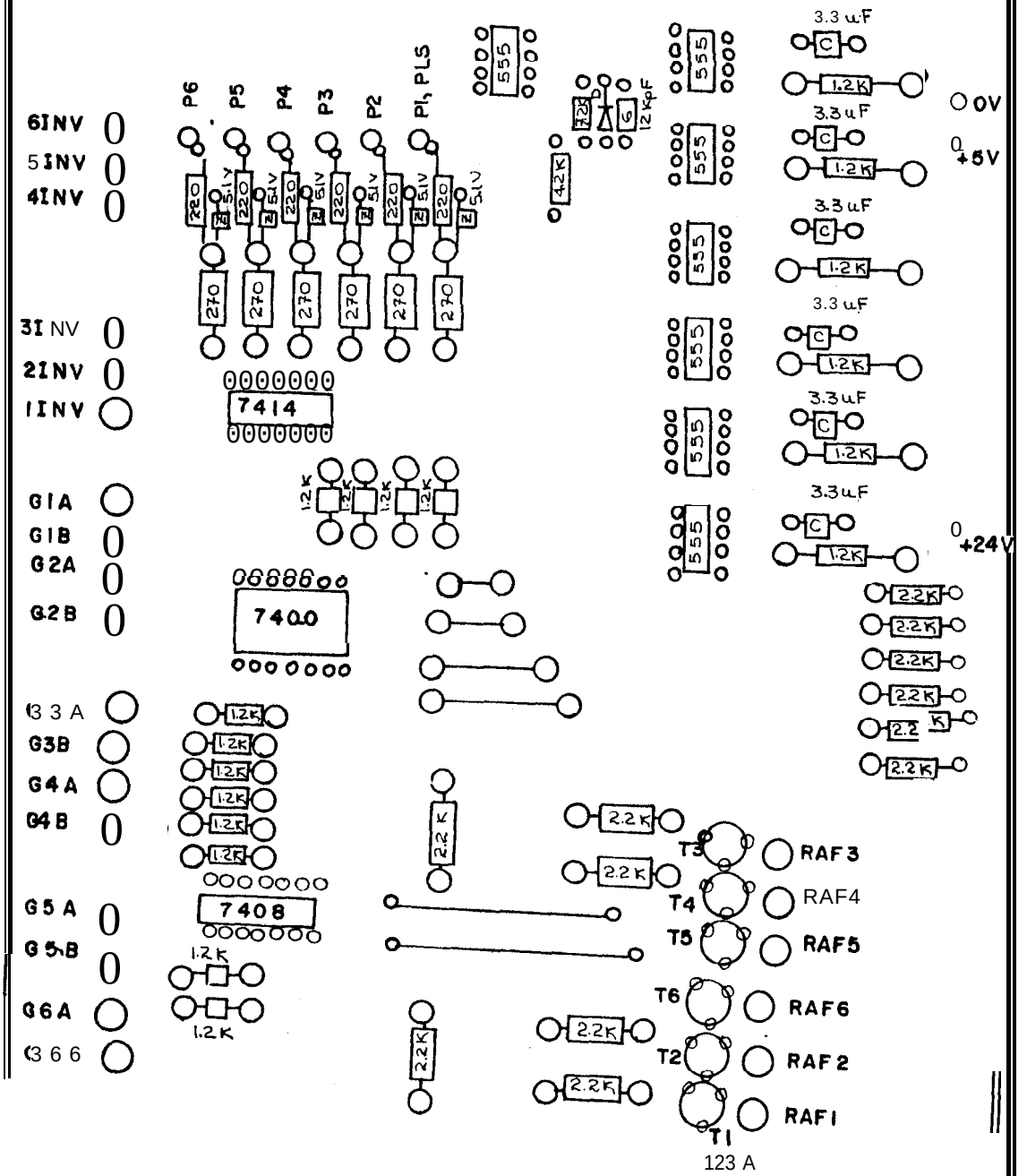


Figura # 10.16.- Disposición de los Elementos de la Tarjeta # 7.

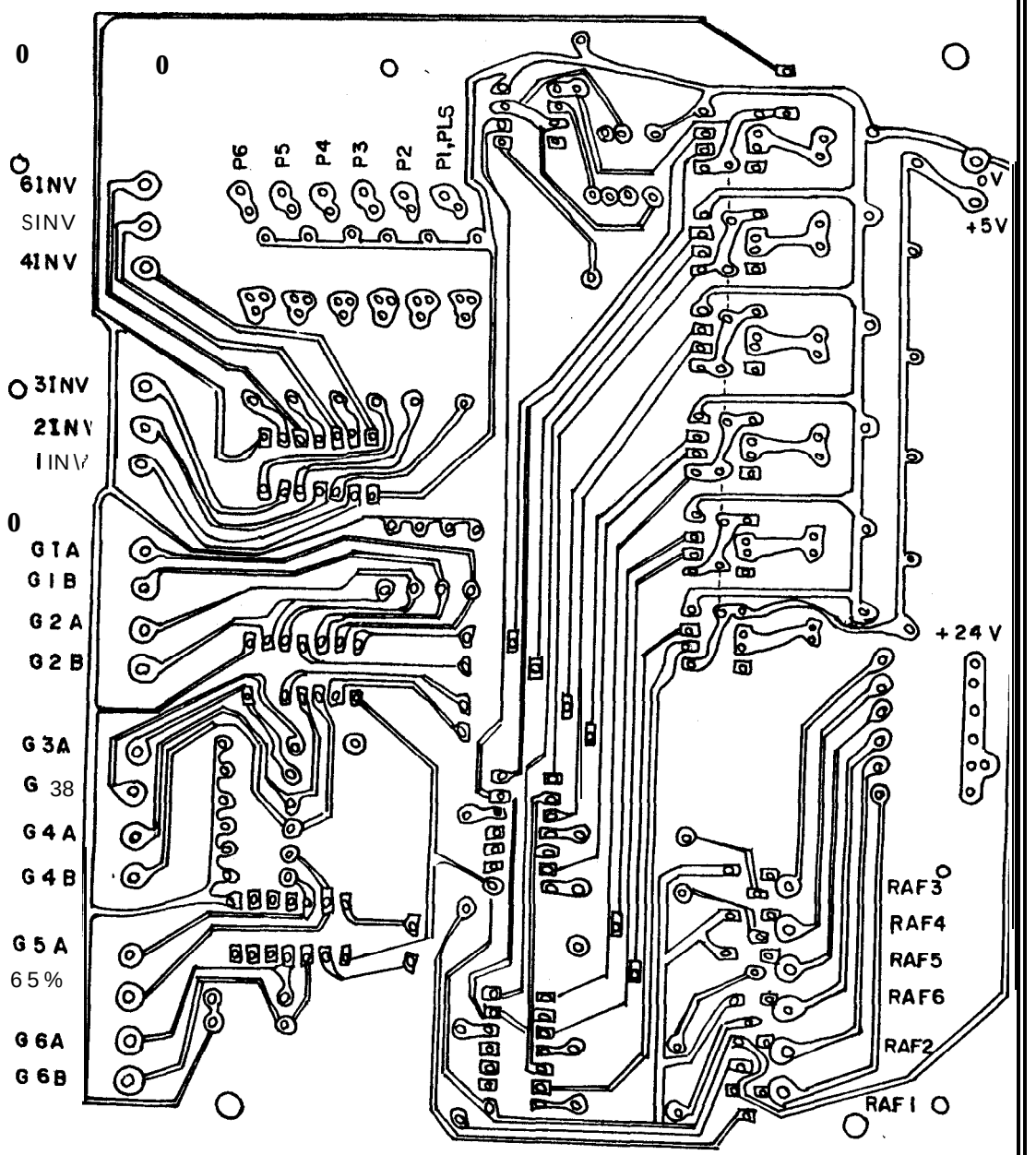


Figura # 10.17.- Circuito Impreso de la Tarjeta # 7.

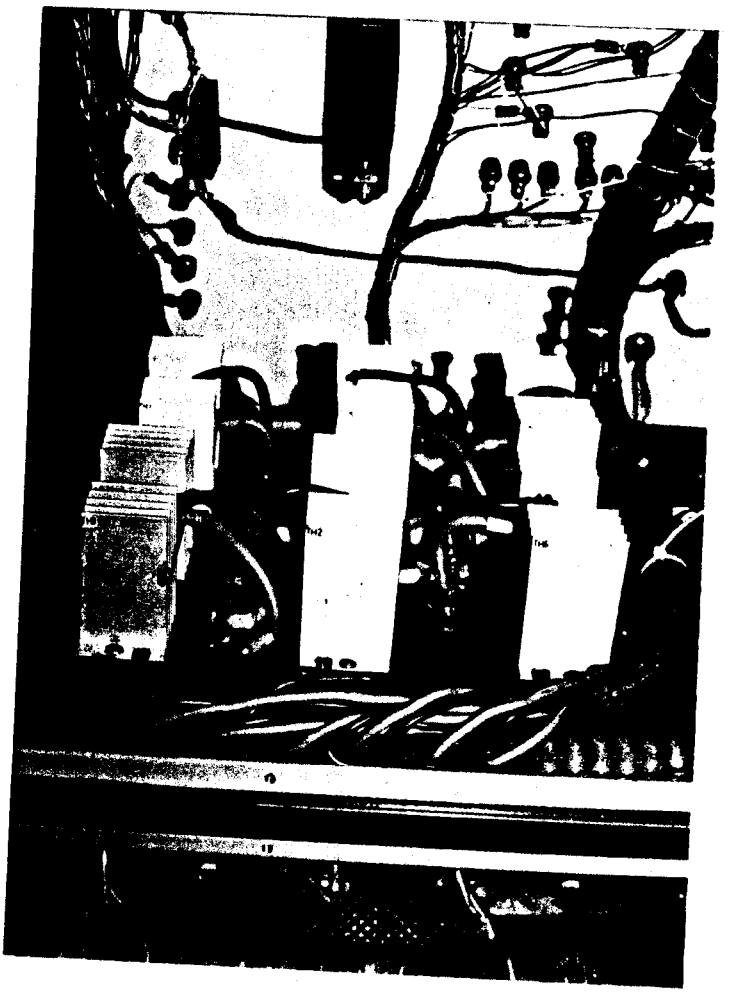


Figura # 10.18.- Foto de la Tarjeta # 8 .

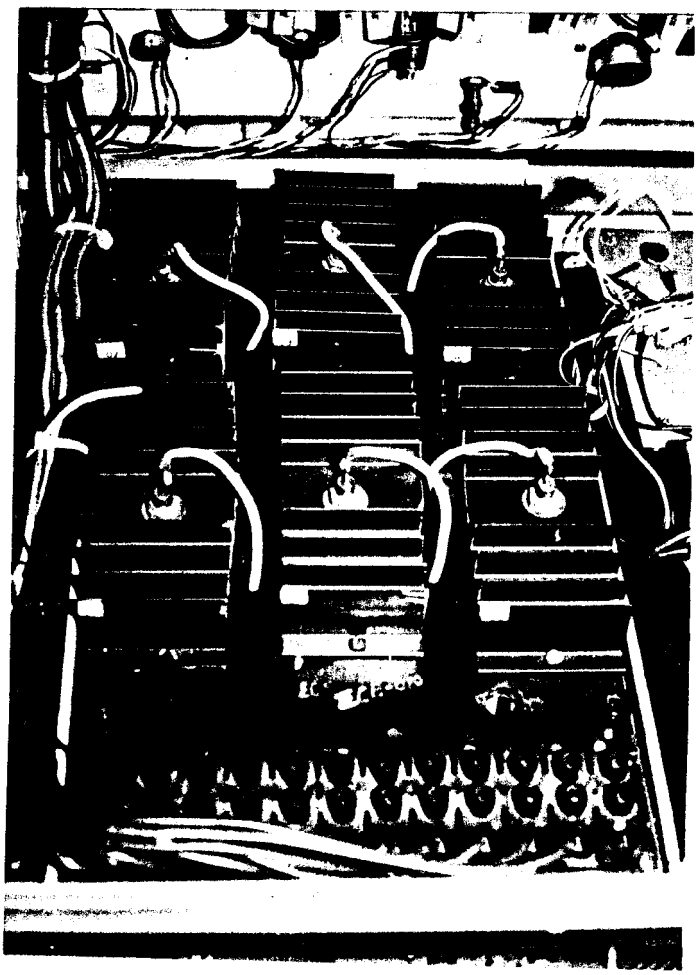
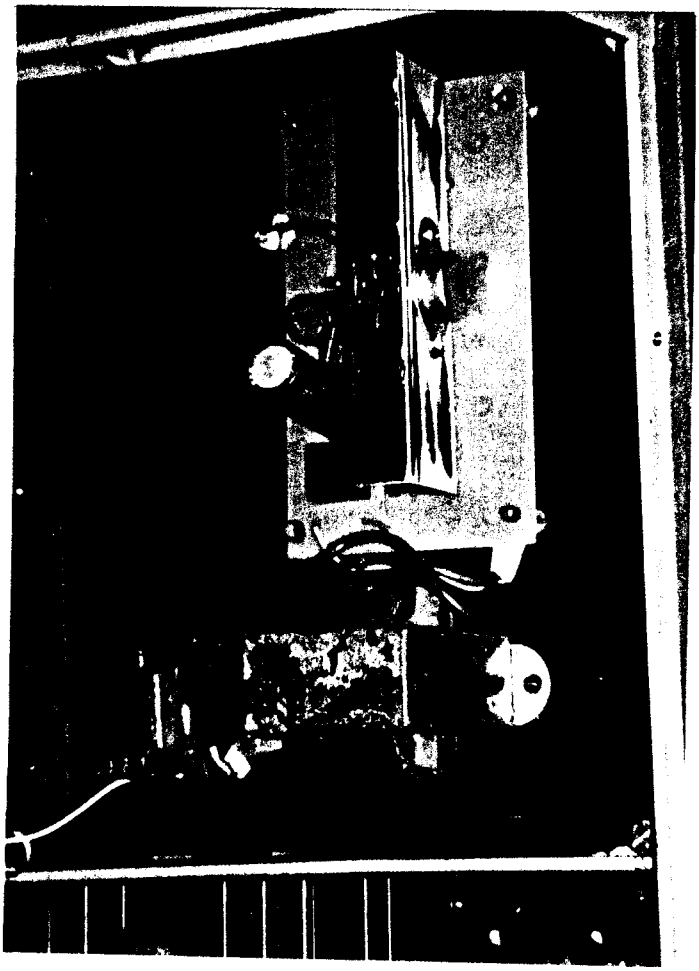


Figura # 10.19.- Foto de la Tarjeta # 9 .



ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DEL LITORAL
1958
GUAYAQUIL
BIBLIOTECA

Figura # 10.20.- Foto de la 'Tarjeta # 10 .

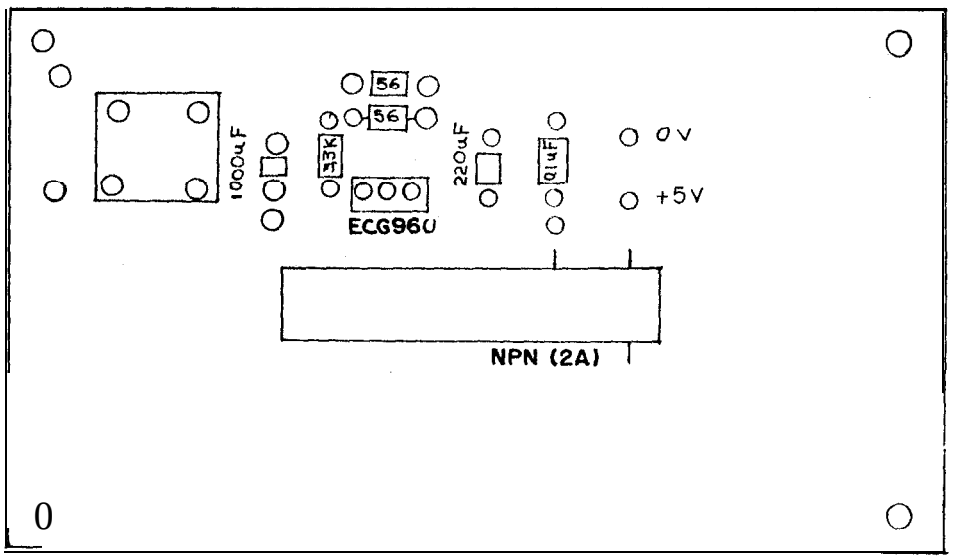


Figura # 10.21.- *Disposición de los Elementos* de la Tarjeta # 10.

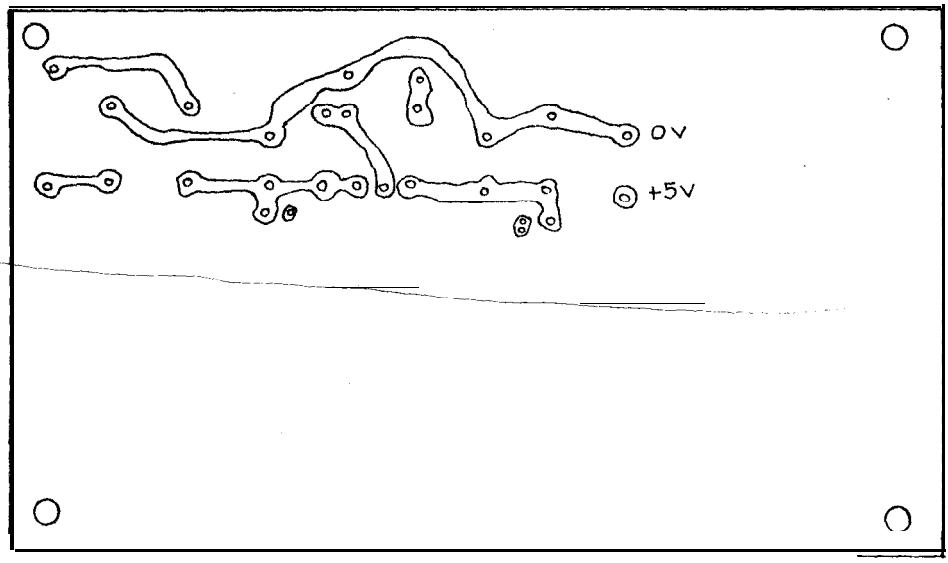


Figura # 10.22.- Circuito Impreso de la Tarjeta # 10.

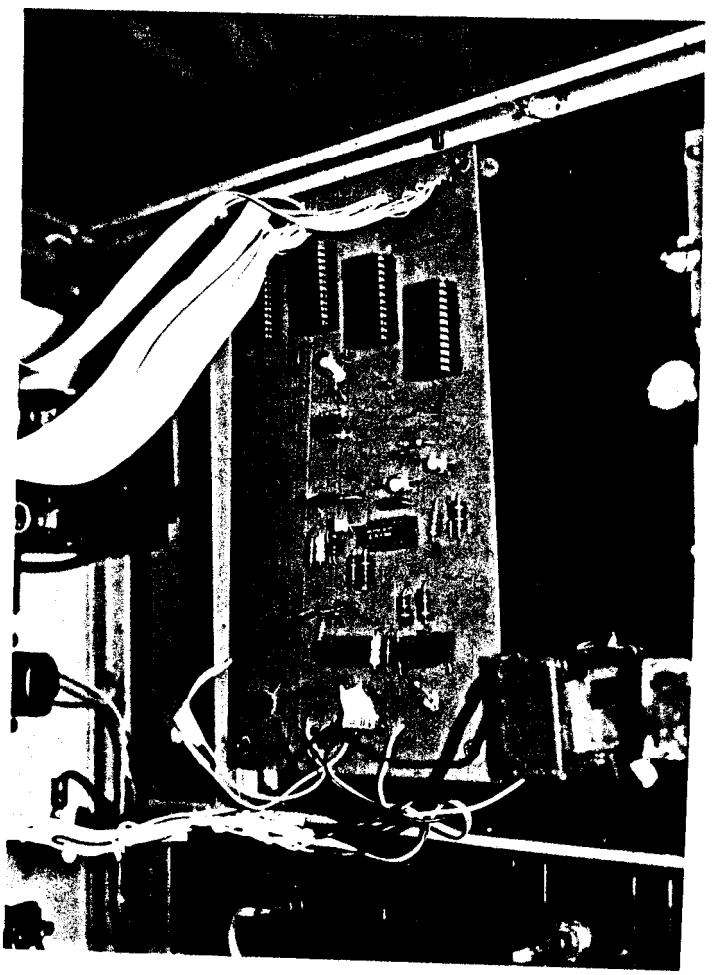


Figura # 10.23.- Foto de la Tarjeta # 11 .

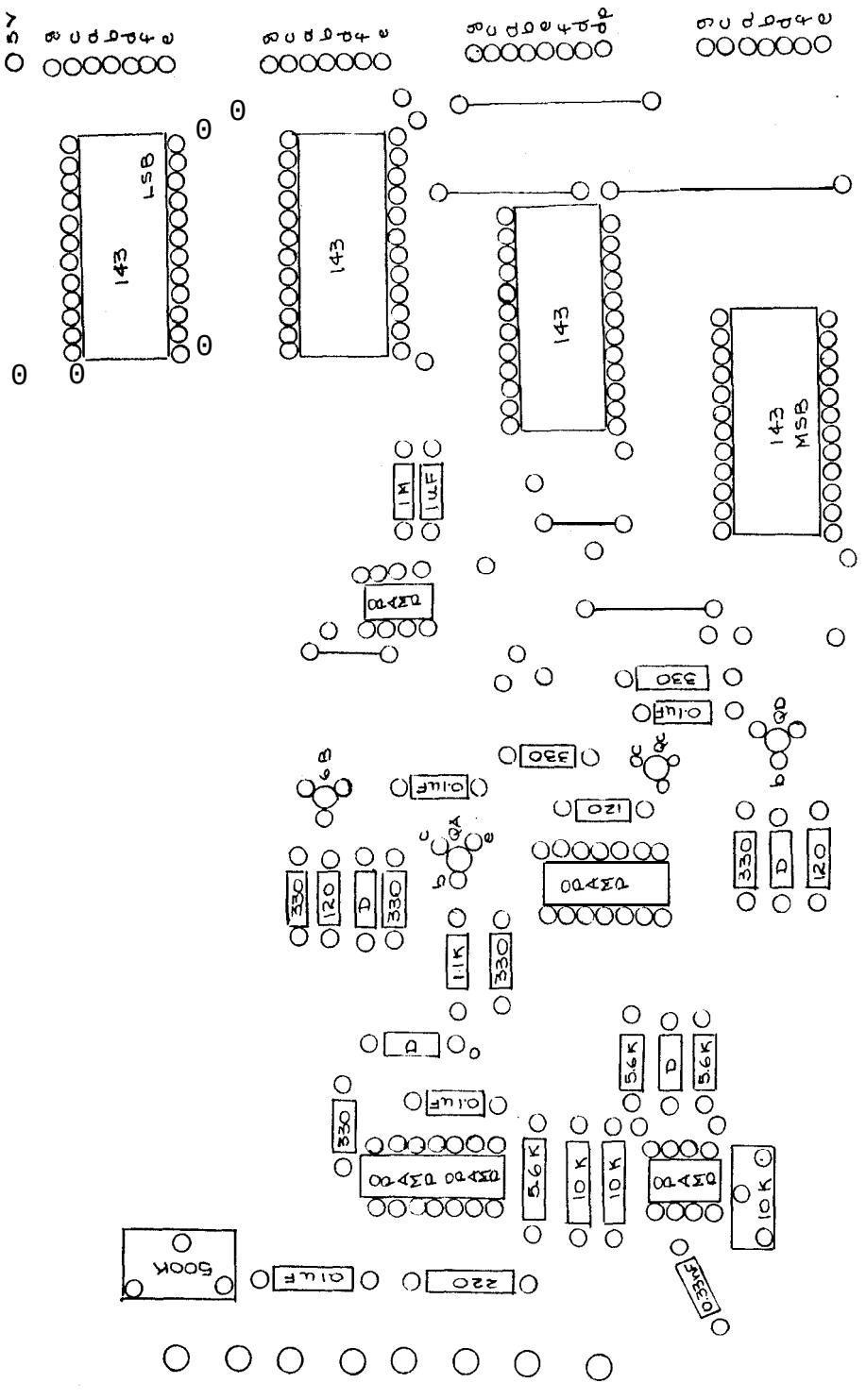


Figura # 10.24.- Disposición de los Elementos de la Tarjeta # 11.

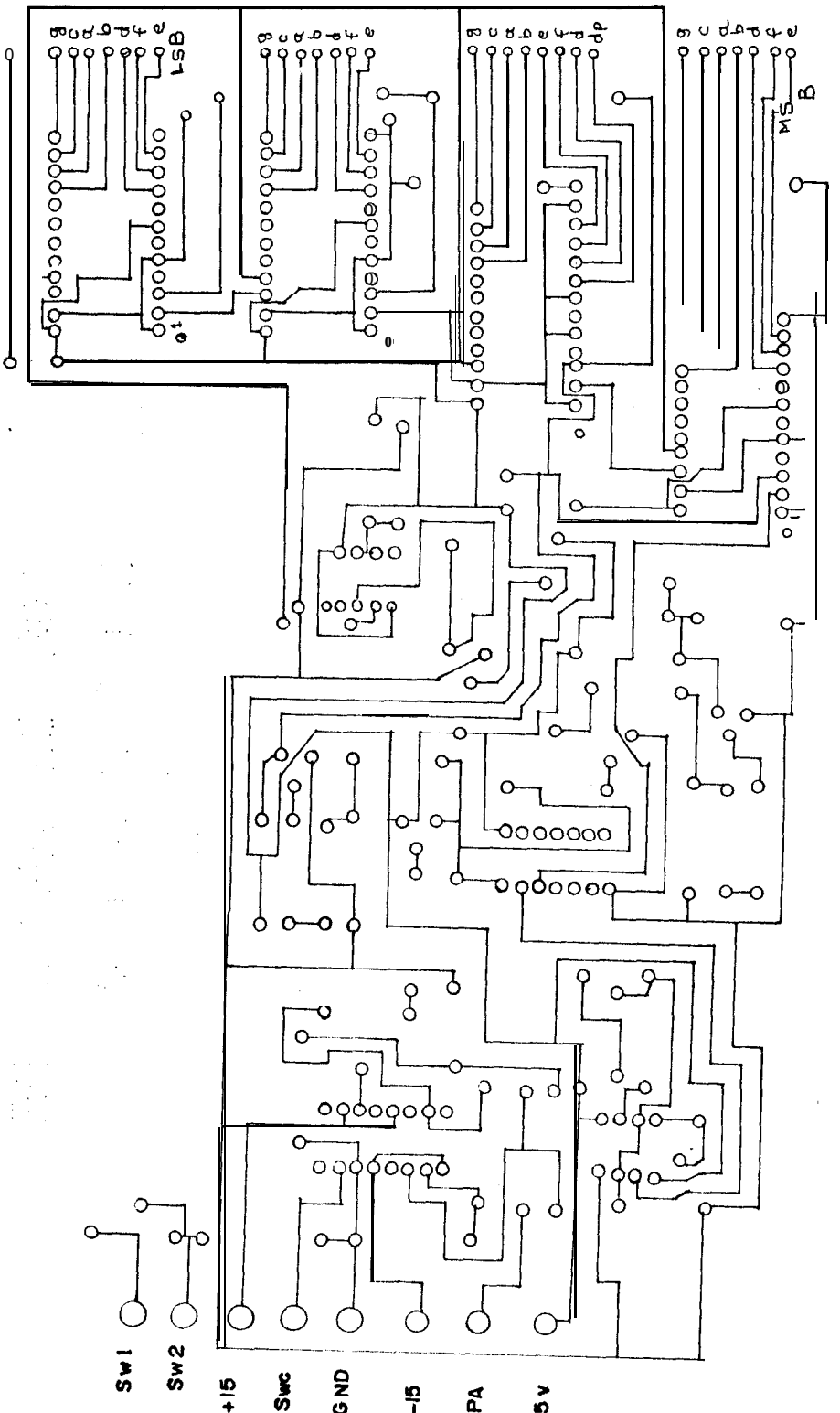


Figura # 10.25.- Circuito Impreso de la Tarjeta # 11.

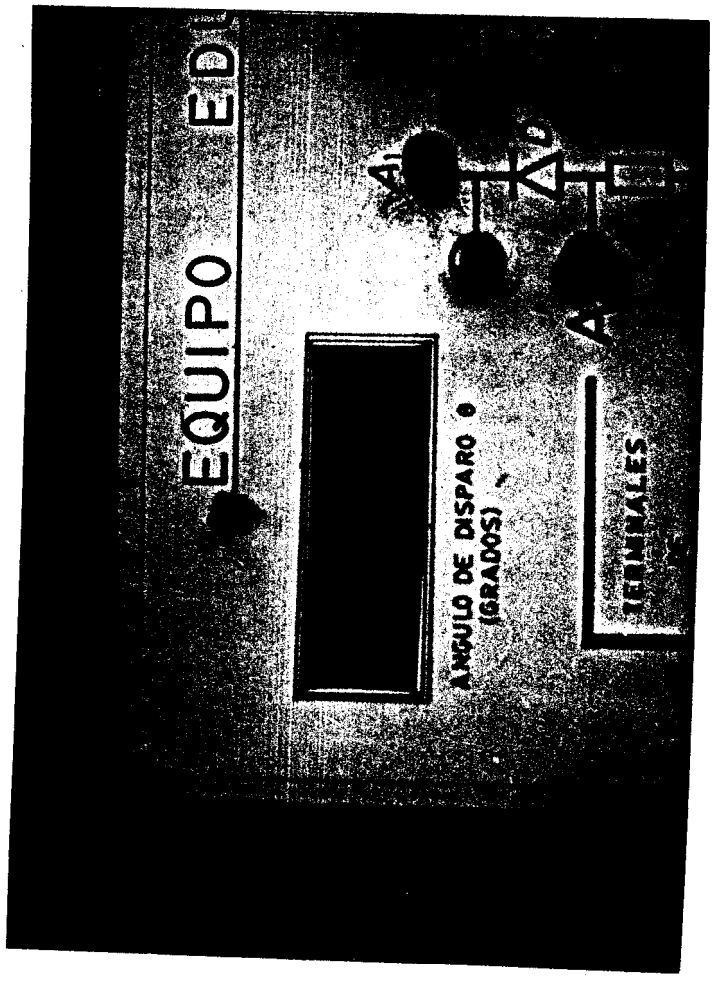


Figura # 10.26.- Vista Externa del Medidor de Angulo.

APENDICE D

INSTRUCTIVOS PARA EL MANTENIMIENTO

El equipo consta de varias secciones a saber: Transformadores de poder, fuentes. circuitos de fuerza. circuitos digitales de : modulación de pulsos, y de medición de ángulo de disparo: 103 circuitos de disparo y circuitos de realimentación.

Una falla en los transformadores de poder se comprobaría midiéndole el voltaje de los secundarios dispuesto3 en el panel frontal inferior. una vez encontrada la fase con problema se busca el fusible correspondiente en el tablero de fusibles ubicado en la parte posterior del equipo.

Las fuentes de voltaje DC tienen protección al tablero de fusibles siendo esta3 fuentes de sencilla construcción se encontraria rápidamente el elemento con fall a midiendo el voltaje de salida del transformador de la fuente. y el voltaje de salida de ésta. Las fuentes de +15 y - 15 voltios fueron las más sensibles. principalmente su IC´S reguladores.

Los disposición de los elementos en las tarjetas. además del diseño de los circuitos impresos de las mismas se ilustran en las figuras del apéndice C.

Los circuitos de fuerza están constituídos por los tiristores y diodos de potencia; éstos pueden en algún momento cortocircuitarse o quemarse. Al ocurrir esta falla. el interruptor ac a la entrada del convertidor se apaga . ya que se está cortocircuitándn 2 lineas

de alimentación. Para localizar la falla se puede utilizar un óhmetro entre el ánodo y el cátodo de cada elemento. En los tiristores se utiliza cable café, para el ãnodo y plomo para el cátodo: para la puerta se utiliza cable multicolor. El ánodo hace contacto con el disipador. en los diodos se utiliza cable azul para el ánodo y cable rojo para el cátodo.

La unidad de disparo está constituída por seis circuitos de disparo transistoricados fácilmente reconocibles entre las tarjetas de control. Una falla en esta sección se detecta de la forma de onda obtenida a la salida del convertidor. ya que uno de los tiristores no se dispara. Lo cual en realidad podría atribuirse también a una falla del circuito modulador de pulsos. En la figura 3.12 se muestra un circuito de disparo y las partes que lo componen. El diseño de circuito impreso se muestra en la figura # 10.11 y la disposición de los elementos en la figura # 10.10. Cada circuito de disparo posee ademas de los terminales de entrada y salida. 5 puntos de prueba marcados con Z, Q, R, C, y X. El punto Z indica el voltaje en el diodo Zener, el punto Q la salida del generador de onda cuadrada. el punto R la salida del generador de Rampa. el punto C el-comparador y el punto X la salida del generador de pulsos. En las figuras 7.1 y 7.2 se muestran las formes de onda obtenidas en un circuito de disparo.

Falla en el generador de onda cuadrada.- Causas disponibles:

BIBLIOTECA

1) el diodo de germanio
2) el diodo zener
3) el transistor Tl

Falla en el generador de rampa.- Causas posibles:

1) El transistor T2
2) el capacitor
3) el reóstato

Falla en el comparador y generador de pulsos.- Causas posibles:

1) un diodo de germanio
2) uno de los capacitores
3) el transistor T3
4) el transistor T4

BIBLIOTECA

Falla en el amplificador de pulsos.- Causas posibles:

1) un diodo de germanio
2) el transistor T5
3) el transistor T6
4) el transformador de pulsos

En la figura 3.10 se muestra el circuito modulador de pulsos. El diseño de circuito impreso se muestra en la figura # 10.17 y la disposición de elementos en la figura # 10.16. En la figura 7.6 y 7.7 se muestran las formas de ondas obtenidas en el circuito modulador producidas para un pulso de dispara en la fase A con

lo que se determinará fácilmente algún elemento con problema. el análisis de un problema para una fase cualquiera es totalmente análogo.

El circuito de medición de ángulo de disparo está ubicado en la parte superior del equipo. Una falla en esta sección se detecta por una lectura anormal en los displays ubicados en el panel frontal para configuración 1ø 0 3ø. En la figura 6.9 se muestra el circuito del medidor del ángulo de disparo. El diseño del circuito impreso se encuentra en la figura # 10.25 y la disposición de los elementos en la figura # 10.24. Desde la figura 7.24 hasta la figura 7.27 se muestran las formas de ondas obtenidas en este circuito. y ayudados con la figuras explicativas de todas las etapas de este circuito expuestas en el capítulo 6 se podrá determinar la causa de una falla en el circuito. se recuerda aquí que el POT de 500 K me da la diferencia de la lectura 1ø a 3ø y que además existe un potenciómetro de 10 K que me da la frecuencia apropiada del reloj del circuito.

Los circuitos de realimentación están montados en una sola tarjeta. En las figuras 5.5 y 5.6 ilustran el circuito correspondiente. La disposición de los elementos se muestra en la figura # 10.13, y el diseño del circuito impreso en la figura # 10.14. Una falla en los circuitos de realimentación se detecta cuando falla el control sobre el motor DC.

Para localizar una falla se pueden seguir los siguientes pasos:

1.- Energizar el equipo.

2.- Cualquiera de los terminales M del panel externo superior queda conectado al terminal I+ del circuito de realimentación al habilitar el interruptor monofásico para la carga. para esta pruebas no deben haber ninguna conección adicional en el panel a las que se indican aquí. Poner entonces una señal de 0 V en el terminal M. la cual puede ser de la bornera "COMUN". En el terminal T7 la salida, debe ser 0 V. Y en el terminal T8 la salida debe ser -11.4 Vdc.

3.- Cambiar ahora a una señal de -15 Vdc en el terminal M. Se recuerda aquí que tenemos une fuente DC de voltaje variable en el terminal Tl cuyo voltaje se varía con el potenciómetro "REFERENCIA" y cuya polaridad se puede variar con el switch "POLARIDAD". La salida en el terminal T'7 debe ser -13.6 Vdcy en el terminal T8 debe ser -0.7 V.

4.- Poner ahora una señal de 0 V en el terminal T5. La salida en el terminal T2 debe ser 0 V y en el terminal T6 debe ser 0.7 V.

5.- Conectar en el terminal T5 una señal -15 Vdc. La salida en el terminal T2 debe ser -13.6 Vdc y en el terminal T6 debe ser 0.7 v.

En caso de no cumplirse una de estas condiciones debe reemplazarse el OPAMP correspondiente: es de mencionar que en estos pasos no se alcanza a probar el OPAMP del controlador de velocidad.

B I B L I O G R A F I A

1.- BOYLESTARD, R.; NASHELSKY. L.:Electronic devices and circuit theory. Prentice Hall, New York 1978.

2.- DORF,R. Sistemas automáticos de control. Teoria y práctica. Fondo Educativo Interamericano. México. 197'7.

3.- HAROLD W., GINGRICH. Máquinas eléctricas. transformadores y controles.

4.- GENERAL ELECTRIC SCR MANUAL. Fifth edition. General Electric. New York. 1972.

5.- COUGHLIN R., Operational Amplifier and Linear Integrated Circuit, 1977.

6.- MANUAL DEL MAWDSLEY'S EDUCATIONAL THYRYSTOR DRIVE. Dursley, England 1978.

7.- KUO B., Automatic Control System. Third edition. Prentice Hall, New Jersey. 1975.

8.- LIWSCHITZ M. Máquinas de corriente alterna. CECSA, 1977.